

**AISI 304 ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİK MALZEMENİN İŞLENMESİNDE  
YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN İNCELENMESİ**

**Bülent BALCI**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Eğitimi Anabilim Dalında  
Bilim Uzmanlığı Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK**

**Haziran 2008**

**KABUL:**

Bülent BALCI tarafından hazırlanan “AISI 304 ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİK MALZEMENİN İŞLENMESİNDE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN İNCELENMESİ” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalında Bilim Uzmanlığı Tezi olarak oybirliğiyle (veya oyçokluğuyla) kabul edilmiştir. 16/06/2008

Başkan: Doç.Dr. Mustafa ACAERER (KBÜ)

Üye : Doç.Dr. İbrahim ÇİFTÇİ (KBÜ)

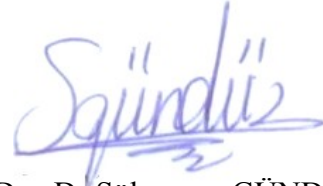
Üye : Yrd.Doç.Dr. Halil DEMİR (KBÜ)



---

**ONAY:**

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylıyorum. 16./06/2008



Doç.Dr Süleyman GÜNDÜZ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

İmzası

Bülent BALCI



## ÖZET

**Bilim Uzmanlığı Tezi**

### **AISI 304 ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİK MALZEMENİN İŞLENMESİNDE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN İNCELENMESİ**

**Bülent BALCI**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Eğitimi Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ**

**Haziran 2008, 67 sayfa**

Bu çalışmada, AISI 304 paslanmaz çelik malzemenin tornalama yöntemiyle işlenmesi sonucu elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri incelenmiştir. Dört farklı uç yarıçapına sahip kaplamalı sementit karbür kesici takımlar kullanılarak işleme deneyleri yapılmıştır. Deneyler, farklı ilerleme hızları ve talaş derinliklerinde soğutma sıvısı kullanılmadan yapılmıştır. Kesici takım uç yarıçapı, ilerleme hızı ve talaş derinliğinin iş parçası ortalama yüzey pürüzlülük değerine (Ra) etkileri incelenmiştir. Deneysel sonuçlardan kesici takım uç yarıçapının ve ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğünü önemli derecede etkilediği görülmüştür. 0,4 mm uç yarıçapına sahip kesici takımla genellikle en düşük yüzey pürüzlülük değerleri elde edilirken 0,4 mm silici kesici uç geometrisine sahip kesici takımla da en yüksek yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. 0,05 ve 0,1 mm/dev ilerleme hızlarında kesici takım uç yarıçapının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerleri beklenmedik bir şekilde artmıştır.

**Anahtar Sözcükler** : AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çelik, Tornalama, Yüzey Pürüzlülüğü, Kesici Takım Uç Yarıçapı

**Bilim Kodu** :626.12.01



## **ABSTRACT**

**M.Sc Thesis**

### **AN INVESTIGATION INTO THE SURFACE ROUGHNESS VALUES WHEN MACHINING AISI 304 AUSTENITIC STAINLESS STEEL**

**Bülent BALCI**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Mechanical Education**

**Thesis Advisor: Doç. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ**

**June 2008, 67 pages**

In this study, surface roughness values obtained when machining AISI 304 austenitic stainless steel through single point turning were studied. The machining tests were carried out using coated cemented carbide cutting tools of four different nose radii. The tests were performed without coolant at various feed rates and depth of cuts. The influence of cutting tool nose radius, feed rate and depth of cut on the average surface roughness (Ra) was examined. The experimental results revealed that cutting tool nose radius and feed rate significantly affected the surface roughness. Cutting tool of 0.4 mm nose radius generally resulted in lowest surface roughness values while highest values were obtained with cutting tool of 0.4 mm wiper nose geometry. At 0.05 and 0.1 mm/rev feed rates, increasing tool nose radius increased the surface roughness values unexpectedly.

**Key Words** : AISI 304 Austenitic Stainless Steel, Turning, Surface Roughness, Cutting Tool Nose Radius

**Science Code :626.12.01**





## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım süresince yardım ve fedakârlıklarını esirgemeyen değerli danıőmanım Doç. Dr İbrahim ÇİFTÇİ 'ye, çalıőmalarım süresince bana destek olan Yrd.Doç. Dr Halil DEMİR 'e, yüksek lisans öğrencisi Gültekin UZUN 'a, sevgili ev arkadaőım Mustafa ÜNDAR 'a, kuzenim Volkan EĞER 'e ve maddi-manevi desteklerini esirgemeyen ablam Sevilay CANSIZ'a ve eniőtem Serhat CANSIZ 'a sonsuz teşekkür ederim.

Projenin gerçekteőmesinde desteklerini esirgemeyen Karabük Üniversitesi Talaşlı Üretim Öğretmenliği Ana Bilim Dalı Başkanlığına sonsuz saygı ve őükranlarımı sunarım.

Eğitim hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen ve büyük bir sabır gösteren anneme ve babama őükranlarımı sunar, teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	v
ABSTRACT .....	vii
TEŞEKKÜR .....	ix
İÇİNDEKİLER.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xv
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xix
BÖLÜM 1 GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK .....	3
2.1 TALAŞLI İMALAT İŞLEMİ.....	3
2.2 İŞLENEBİLİRLİK .....	5
2.3 TALAŞLI İMALAT MEKANİĞİ VE TALAŞ OLUŞUMU .....	6
2.4 TALAŞLI İMALAT İŞLEMİNDE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ .....	7
2.4.1 Yüzey Pürüzlülüğünün Önemli Olduğu Durumlar .....	7
2.4.2 Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler .....	8
2.4.3 Yüzey Pürüzlülüğünün Oluşumu .....	8
2.4.4 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Teknikleri .....	9
2.4.5 Yüzey Pürüzlülük Parametreleri .....	11
2.4.5.1 Örnekleme Uzunluğu ve Örnekleme Sayısı.....	11
2.4.5.2 Ortama Çizgisi .....	11
2.4.5.3 Ortama Yüzey Pürüzlülüğü (Ra).....	12
2.4.5.4 Genlik Dağılım Eğrisi (Rsk) .....	12
2.5 TALAŞLI İMALAT İŞLEMİNDE KESME KUVVETLERİ.....	13

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

Sayfa

2.6 İŞ PARÇASI MALZEME ÖZELLİKLERİNİN İŞLENEBİLİRLİĞE ETKİSİ.....	14
2.6.1 Sertlik ve Dayanım .....	15
2.6.2 Süneklik .....	16
2.6.3 İş Parçası Durumu.....	16
2.6.4 Yüzey Tamlığı - Düzgünlüğü .....	18
2.6.5 Alaşım Elementleri.....	18
BÖLÜM 3 PASLANMAZ ÇELİKLER .....	19
3.1 GİRİŞ.....	19
3.2 PASLANMAZ ÇELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI .....	20
3.2.1 Östenitik Paslanmaz Çelikler.....	20
3.2.2 Ferritik Paslanmaz Çelikler .....	22
3.2.3 Martenzitik Paslanmaz Çelikler.....	23
3.2.4 Çift Fazlı (Dubleks) Paslanmaz Çelikler .....	24
3.2.5 Çökeltme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler .....	25
3.2.6 Alaşım Elementlerinin çelik Yapısına Etkisi .....	25
3.2.6.1 Krom (Cr).....	26
3.2.6.2 Molibden (Mo).....	26
3.2.6.3 Niobyum, Titanyum .....	26
3.2.6.4 Karbon (C) .....	26
3.2.6.5 Bakır (Cu) .....	26
3.2.6.6 Silisyum (Si) .....	26
3.2.6.7 Mangan (Mn) .....	27
3.2.6.8 Azot (N) .....	27
3.2.6.10 Bor (B) .....	27
3.2.6.11 Wolfram (W).....	27
3.2.6.12 Vanadyum (V).....	27
3.2.6.13 Nikel (Ni) .....	28
3.3 PASLANMAZ ÇELİKLERİN İŞLENEBİLİRLİĞİ .....	28

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 4 YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ .....	31
4.1 GİRİŞ .....	31
4.2 YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ .....	32
4.3 İMALATTA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ .....	32
4.4 İDEAL YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ .....	33
4.5 YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER .....	33
4.5.1 İmalatta Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri .....	33
4.5.2 Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler .....	34
4.6 KESİCİ TAKIM AŞINMASININ ETKİLERİ .....	35
4.4 İDEAL YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ .....	35
4.7 TALAŞ ŞEKİLLERİ .....	35
4.7.1 Sürekli Talaş .....	35
4.7.2 Dilimli Talaş .....	36
4.7.3 Süreksiz Talaş .....	37
4.7.4 Kesici Takımda Yığıntı Talaş (BUE-Built Up Edge) .....	37
4.8 KESME KUVVETLERİNİN ETKİLERİ .....	39
BÖLÜM 5 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	41
5.1 PASLANMAZ ÇELİKLERİN İŞLENEBİLİRLİĞİYLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR ...	41
5.2 LİTERATÜR ARAŞTIRMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ .....	45
BÖLÜM 6 METERYAL VE METOT .....	47
6.1 İŞ PARÇASI .....	47
6.2 KESİCİ TAKIM VE TAKIM TUTUCU .....	47
6.3 DENEYLERİN YAPILIŞI .....	48
BÖLÜM 7 DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....	51

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
7.1 KESİCİ TAKIM UÇ YARIÇAPININ YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ .....	51
7.2 İLERLEME HIZININ YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ.....	58
7.3 TALAŞ DERİNLİĞİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ.....	60
BÖLÜM 8 SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	61
KAYNAKLAR.....	63
ÖZGEÇMİŞ .....	67

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
2.1	Torna tezgâhı ve tornalama işleminin şematik olarak gösterimi .....	4
2.2	Dik kesme modeli .....	6
2.3	Gerçek talaş oluşumu .....	7
2.4	İlerleme ve takım uç yarı çapının yüzey pürüzlülüğüne etkisi .....	9
2.5	Örnekleme uzunluğu ve sayısı ile ölçüm uzunluğu .....	11
2.6	Ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiksel ifadesi .....	11
2.7	Profil ve genlik dağılım eğrisi .....	12
2.8	Tornalama işleminde kesme kuvvetleri .....	13
2.9	Malzemelerin temel mekanik özelliklerinin Karbon muhtevası ile değişimi .....	14
2.10	Kesme hızı üzerine Perlit ve Karbon miktarının etkisi .....	15
2.11	Karbon miktarının işlenebilirliğe etkisi .....	15
2.12	Çekme dayanımı (TS)' ye karşılık, sertlik (H) ve süneklikteki (D) değişimi .....	16
4.1	M Sistemine göre yüzey pürüzlülüğü profili .....	33
4.2	Sürekli talaş örneği .....	36
4.3	Dilimli Talaş .....	36
4.4	BUE oluşumu .....	38
6.1	Geleneksel ve Silici Kesici Uç Geometrilerinin Şematik Olarak Gösterilmesi ....	48
7.1	150 m/dk kesme hızında ve 0,5 mm talaş derinliğinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) .....	54
7.2	180 m/dk kesme hızında ve 0,5 mm talaş derinliğinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) .....	54
7.3	150 m/dk kesme hızında ve 1 mm talaş derinliğinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) .....	55
7.4	180 m/dk kesme hızında ve 1 mm talaş derinliğinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) .....	55
7.5	150 m/dk kesme hızında ve 1,5 mm talaş derinliğinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) .....	56

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
7.6 180 m/dk kesme hızında ve 1,5 mm talaş derinliğinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra).....	56
7.7 İlerleme Hızına Göre Ra Değişimleri.....	58



## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri.....	21
3.2 Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri.....	23
6.1 AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi .....	47
7.1 AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin kaplamalı sementit karbür kesici takımlarla tornalanması sonucu elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra).....	52



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a	:	Talaş Kalınlığı(mm)
dev	:	Devir
f	:	İlerleme hızı
F <sub>c</sub>	:	Esas kesme kuvveti
F <sub>f</sub>	:	İlerleme kuvveti
F <sub>r</sub>	:	Radyal (pasif) kuvvet
g	:	Gram
l	:	Örnekleme uzunluğu
l <sub>s</sub>	:	Kayma düzlemi uzunluğu
R <sub>a</sub>	:	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü
R <sub>max</sub>	:	Maksimum Yüzey Pürüzlülüğü
R <sub>sk</sub>	:	Genlik dağılım eğrisi
R <sub>t</sub>	:	Maksimum Yüzey Pürüzlülüğü
t	:	Deforme edilmemiş talaş derinliği
t <sub>c</sub>	:	Oluşan talaş kalınlığı
t <sub>o</sub>	:	Talaş derinliği
V	:	Kesme hızı
w	:	İş parçası genişliği
α	:	Kesici takım talaş açısı
φ	:	Kayma düzlemi açısı
µm	:	Mikronmetre

## **KISALTMALAR**

Al	:	Aliminyum
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	:	Alüminyum oksit
AISI	:	Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü
B	:	Bor
BUE	:	Yığıntı talaş (Bult-up-edge)
C	:	Karbon
CBN	:	Kübik Bor Nitrür
CNC	:	Bilgisayar Destekli Kontrol (Computer Numeric Control)
Cr	:	Krom
Cu	:	Bakır
Co	:	Kobalt
D	:	Süneklik
HB	:	Brinel Sertlik Değeri
Mo	:	Molibden
Mn	:	Mangan
N	:	Azot
Ni	:	Nikel
Nb	:	Nibidyum
P	:	Fosfor
Pd	:	Kurşun
Rt	:	Pürüzlülük Yüksekliği
Ra	:	Ortalama Pürüzlülük Değeri
Rsk	:	Genlik Dağılımı Eğrisi
SEM	:	Aşınmış Kesici Takımlar Tarama Mikroskobu
Si	:	Silisyum
Ti	:	Titanyum
TiN	:	Titanyum Nitrür
TiC	:	Titanyum Karbür
TiCN	:	Titanyum Karbonitrür
TS	:	Çekme Dayanımı
W	:	Wolfrom
V	:	Vanadyum

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Paslanmaz çelikler korozyon direnci sağlayan bir grup yüksek alaşımlı çeliklerdir. Ayrıca, paslanmaz çelikler yüksek çekme dayanımı, düşük ısı iletkenlik, yüksek süneklik ve yüksek deformasyon sertleşme eğilimi sergilerler (Paro et al, 2001; Groover, 1996; Kalpakjian, 1991). Korozyon direncinin gerekli olduğu yerlerde kullanılırlar. Paslanmaz çelikler kimya ve gıda işleme donanımlarının, çeşitli makine parçalarının, jet motoru parçalarının ve tıbbi cihazların yapımında kullanılırlar (Groover, 1996; Kalpakjian, 1991; Korkut vd, 2004).

Karbon ve düşük alaşımlı çeliklere göre paslanmaz çelikler işlenmesi zor olan malzemeler olarak kabul edilirler. Yüksek dayanımları, yüksek deformasyon sertleşme eğilimleri ve düşük ısı iletkenlikleri paslanmaz çeliklerin işlenmesini zorlaştıran faktörlerdir (Paro et al, 2001; Trent, 1989). Düşük yüzey kalitesi ve hızlı takım aşınması paslanmaz çeliklerin işlenmesinde en yaygın olarak karşılaşılan problemlerdir (O'Sullivan and Cotterel, 2002). Paslanmaz çeliklerin işlenmesinde yüksek çekme dayanımı kesme kuvvetlerini artırıp ciddi takım aşınmasına neden olur. Özellikle östenitik paslanmaz çeliklerin yüksek deformasyon sertleşme eğilimleri ve düşük ısı iletkenlikleri kesme bölgesindeki sıcaklıkları önemli derecede artırır. Bu malzemelerin yüksek deformasyon sertleşme eğilimleri ve yüksek süneklikleri işlenmiş iş parçası yüzey kalitesini ve boyutlarını olumsuz olarak etkileyen yığıntı talaş (BUE) oluşumuna neden olurlar (Paro et al, 2001). Paslanmaz çeliklerin işlenmesinde hızlı takım aşınmasına ilave olarak işlenmiş parça yüzey pürüzlülük değeri de BUE nedeniyle yüksek çıkmaktadır. İşlenmiş parçaların yüzey pürüzlülük değerleri önemli bir tasarım kriteridir. Yüzey pürüzlülük değeri aşınma direnci ve yorulma dayanımı gibi özellikleri önemli derecede etkiler (Onwubolu, 2005). İşlenmiş parça yüzeylerinin pürüzlülük değerlerinin çoğunlukla düşük olması istenir.

Paslanmaz çelikler arasında kullanımı yaygın olanlar östenitik paslanmaz çeliklerdir. Östenitik paslanmaz çelikler arasında da 300 serisi en çok kullanılmaktadır (O'Sullivan and Cotterel, 2002). AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin işlenebilirliği üzerine daha önce yapılan

Çalışmalarda kesme hızının yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerine etkileri incelenmiştir (iftçi, 2005; Ciftci, 2006). Ayrıca, kesme hızının kesici takım ömrüne etkisi de incelenmiştir (Korkut vd, 2004). Deneyler tornalama yöntemiyle, ilerleme hızı ve talaş derinliği sabit tutularak farklı kesme hızlarında kaplamalı sementit karbür kesici takımlarla yapılmıştır. Bu çalışmalardan; yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri ve takım ömrü bakımından 150 ve 180 m/dk kesme hızlarının AISI 304 malzemelerin kaplamalı sementit karbür kesici takımlarla işlenmesinde uygun kesme hızları olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, aşınmış kesici takımların tarama elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesiyle kesici takımdaki hasarların 150 ve 180 m/dk kesme hızlarında en az düzeyde olduğu görülmüştür.

Yapılan çalışmalarda ilerleme hızı, talaş derinliği ve kesici takım uç yarıçapının yüzey pürüzlülüğü değerine etkisi araştırılmamıştır. Bu çalışmada, ticari kalitede AISI 304 paslanmaz çeliğin tornalama yöntemiyle işlenmesi sonucu elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri incelenecektir. İşleme deneyleri kaplamalı sementit karbür kesici takımlar kullanılarak yapılacaktır. Deneyler, bu malzemenin işlenmesi için daha önce yapılan çalışmalarda belirlenen 150 ve 180 m/dk kesme hızlarında üç farklı ilerleme hızı ve üç farklı talaş derinliğinde yapılacaktır. Ayrıca, kesici takım uç yarıçapının yüzey pürüzlülük değerine etkisini de incelemek için dört farklı uç geometrisine sahip kesici takımlar kullanılacaktır.

## BÖLÜM 2

### TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK

#### 2.1 TALAŞLI İMALAT İŞLEMİ

Talaşlı üretim işlemi en önemli imalat yöntemlerinden biridir. Talaşlı imalat işleminde iş parçasını (yarı mamul; döküm, dövülmüş, haddelenmiş) istenilen geometriye getirmek için üzerindeki fazlalıklar uygun takım tezgahı (torna, freze, matkap) ve kesici takım kullanılarak talaşlar şeklinde uzaklaştırılıp, istenilen boyutlar ve yüzey kalitesi sağlanır. İş parçası metal olduğu zaman işlem metal kesme olarak da isimlendirilir. Talaşlı imalat işleminde etkin olan kesme hareketi iş parçasının kesici takım önündeki plastik deformasyonunu ve deforme olan bu katmanın talaşa dönüşmesini gerektirir (Çiftçi, 2007).

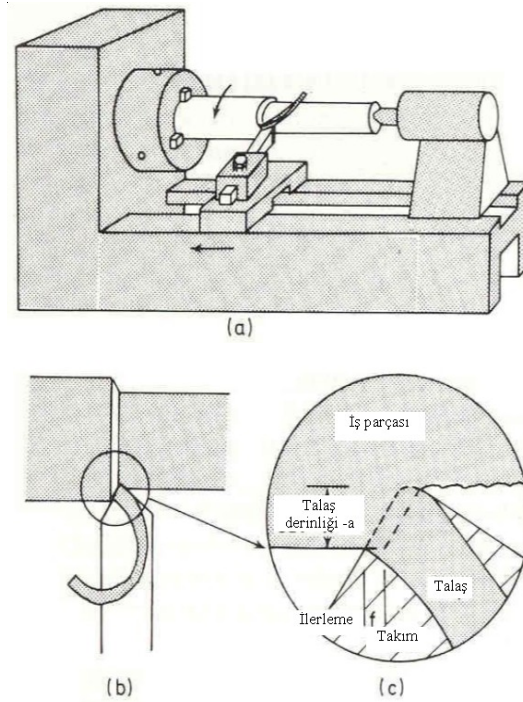
Aşağıdaki sebepler dikkate alındığında talaşlı imalat işleminin en önemli imalat yöntemlerinden biri olduğu anlaşılır:

1. Çok çeşitli malzemeler talaşlı imalat yöntemiyle şekillendirilebilir. Gerçekte bütün katı malzemeler işlenebilir. Polimer ve polimer esaslı kompozitler de talaşlı imalat yöntemiyle işlenebilir.
2. Talaşlı imalat işlemiyle düz ve dairesel yüzeyler gibi düzenli geometriler oluşturulabilir. Birkaç talaşlı imalat işlemi sırayla uygulanarak hemen hemen bütün karmaşık geometriler elde edilebilir.
3. Talaşlı imalat işlemiyle iş parçası ölçüleri çok yakın toleranslarda elde edilebilir ve çok iyi yüzey kalitesi elde edilebilir (Groover, 1996).

Farklı geometrilerdeki iş parçalarını talaşlı imalat yöntemiyle şekillendirmek için çeşitli talaşlı imalat işlemleri ve bu işlemlere özgü takım tezgâhları geliştirilmiştir.

Tornalama işlemi talaşlı imalat ile ilgili yapılan deneysel çalışmalarda en çok kullanılan talaşlı imalat yöntemidir. Etkin bir talaşlı imalat işlemi olan tornalama işlemi dairesel iş parçalarının işlenmesinde kullanılır. İşlenecek olan iş parçası genelde bir aynaya bağlanarak döndürülür. Bir takım tutucu üzerine rijit olarak bağlanmış kesici takım dönen iş parçası ekseninde ilerletilerek ve iş parçasından bir katman kaldırılarak, dairesel veya daha karmaşık profilli yüzeyler oluşturulur. Şekil 2.1’de torna tezgahı ve tornalama işlemini şematik olarak göstermektedir.

Kesme hızı ( $V$ ), kesilmemiş iş parçası yüzeyindeki bir noktanın kesici takım önünde birim zamanda aldığı yol olarak tanımlanır ve çoğunlukla m/dk olarak ifade edilir. İlerleme hızı ( $f$ ), iş paçası malzemesinin her bir dönüşünde kesici takımın iş parçası eksenine paralel olarak kat ettiği mesafedir. Talaş kalınlığı ( $a$ ), iş parçası malzemesinden kaldırılan malzemenin derinliğidir ve iş parçası eksenine dik yönde ölçülür. Bu üç kesme parametresinin çarpımıyla ekseriyetle metal kesme işleminin verimliliğini ifade eden talaş kaldırma oranı bulunur (Trent, 1989).



Şekil 2.1 Torna tezgahı ve tornalama işleminin şematik olarak gösterimi (Trent, 1989).



## 2.2 İŞLENEBİLİRLİK

İşlenebilirlik, genellikle iş parçasının işlenebilme kabiliyeti, bir başka deyişle iş parçasının kesici bir takım ile şekillendirilmesinin kolaylığı veya zorluğudur (Çakır, 1999). İşlenebilirlik, ekseriyetle malzemenin özgül bir özelliği olarak algılsa da, işlenebilirlik sadece işlenen malzemeye bağlı olmayıp aynı zamanda işleme yöntemi ve işleme parametrelerine de bağlıdır (DeGarmo et al, 1997).

İşlenebilirliği değerlendirmek için çeşitli kriterler kullanılır. Bunlardan en yaygın olanları:

1. Takım ömrü;
2. Kesme kuvvetleri ve harcanan enerji veya güç;
3. İşlenen yüzey kalitesidir (Shaw, 1989).

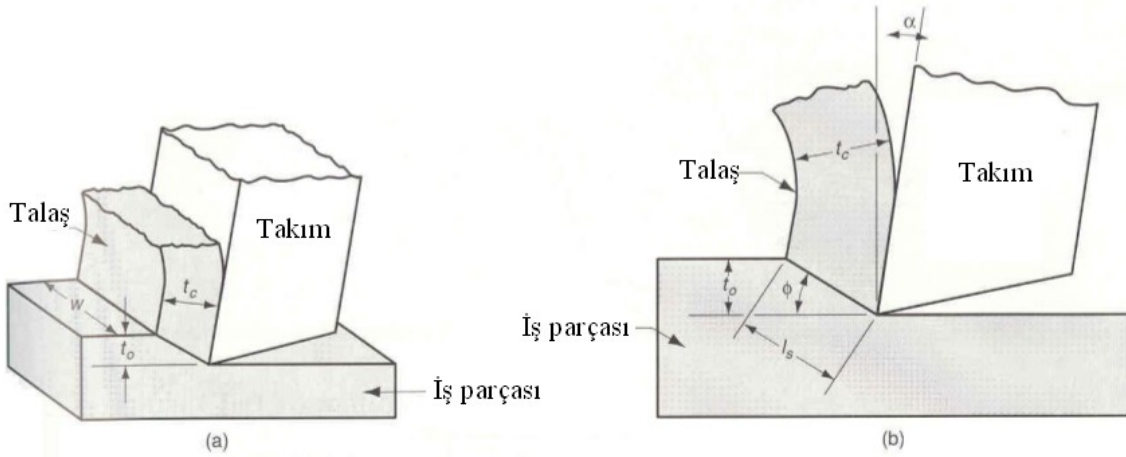
Malzemelerin işlenebilirliklerini etkileyen malzeme özellikleri sertlik, süneklik, ısıl iletkenlik, pекleşme, malzeme içindeki inklüzyonlar ve malzemenin kimyasal bileşimidir. Örnek olarak, sertlik arttıkça kesici takımda abrasif aşınma artar ve dolayısıyla takım ömrü kısalmır. Düşük sertlik ve dayanım genelde iyi işlenebilirlik anlamına gelmekle birlikte sertliği az olan çok sünek malzemelerde yıgıntı talaş (built-up-edge - BUE) oluşumu gerçekleştiği için yüzey kalitesi kötüleşir ve takım ömrü kısalmır. Çok düşük sertlik talaşlı imalat işleminin performansını kötü yönde etkileyebilir. Örnek olarak, nispeten düşük sertliğe sahip düşük karbonlu çeliğin işlenmesinde kötü yüzey kalitesi oluşur ve talaş uzaklaştırılması ile ilgili problemlerle karşılaşılır. Bu nedenle, düşük karbonlu çeliklerde yüzey sertliğini artırmak ve talaş kırılmasını sağlamak için ekseriyetle soğuk çekme işleme uygulanır. Düşük süneklik, metal kesme işleminde genelde olumlu bir etki yaparak iyi talaş oluşumuna katkıda bulunur ve metal kesme işlemi için daha az güç gerektirir. Artan iş parçası dayanımı da kesme kuvvetleri, özgül enerji ve kesme sıcaklığını artıracığı için, artan dayanımla metal kesme işlemi zorlaşır. Bununla birlikte, yüksek ısıl iletkenlik kesme bölgesinden oluşan ısının hızlı olarak uzaklaştırılması demektir. Bu nedenle, yüksek ısıl iletkenlik işlenebilirlik yönünden genelde faydalıdır (Kopaci and Bahor, 1999).

Ayrıca, bir malzemenin kimyasal bileşimi, maruz kaldığı ısıl işlem ve içerisindeki inklüzyonlar işlenebilirlik özelliğini önemli ölçüde etkiler ve bazı durumlarda kimyasal

bileşim takım üzerinde etkin olan aşınma mekanizmalarını da belirler (Groover, 1996; Sandvik Coromant, 1994).

## 2.3 TALAŞLI İMALAT MEKANIĞI VE TALAŞ OLUŞUMU

Talaşlı imalat işleminin mekaniği ve talaş oluşumu üzerine yapılan analizlerde genellikle iş parçası olarak metaller dikkate alınmıştır (Groover, 1996; Shaw, 1989). Bununla birlikte, metal dışı olan malzemelerin işlenmesinde de benzer kurallar uygulanabilir. Talaşlı imalat işlemi gerçekte üç boyutlu ve oldukça karmaşık olduğu için talaşlı imalat işleminin mekaniğinin tanımlanmasında iki boyutlu dik kesme (orthogonal) modeli kullanılır (Şekil 2.2). Bu yaklaşım basit olmakla birlikte talaşlı imalat mekaniğini yeterli doğrulukta tanımlar. İki boyutlu dik kesme modeli talaşlı imalat işleminin analizinde önemli bir rol oynar. Bu modele göre, iş parçasının kesici takım zorlamasıyla kayma düzleminde iş parçasının kayma gerilmesinin aşılmasıyla talaş oluşumu gerçekleşir (Groover, 1996).

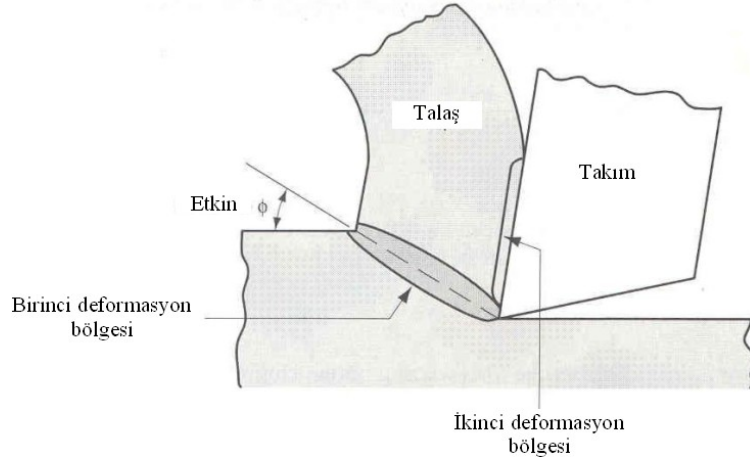


$t_0$  : deforme olmamış talaş kalınlığı     $l_s$  : kayma düzlemi uzunluğu  
 $t_c$  : deforme olmuş talaş kalınlığı     $\phi$  : kayma düzlemi açısı  
 $w$  : iş parçası genişliği     $\alpha$  : kesici takım talaş açısı

Şekil 2.2 Dik kesme modeli (Groover, 1996).

Gerçekte ise talaş oluşumu ince bir bölgede gerçekleşir, Şekil 2.3'te Talaş oluşumu plastik deformasyonun önemli derecede rol oynadığı bir işlemdir. Talaşlı imalat işleminde talaş oluşumu, iş parçasının kesici takım önündeki bölgesel deformasyonu ile gerçekleşir. İş parçası ve kesici takım arasındaki nispi hareket sonucu iş parçasında oluşan gerilme iş parçasını birinci deformasyon bölgesinde plastik deformasyona uğratarak talaş oluşumunu

gerçekleştirir. Oluşan talaş, kesici takımın talaş yüzeyi üzerinden geçerek atılır. Birinci kayma (deformasyon) düzleminde oluşan talaş kesici takımın talaş yüzeyi üzerinden geçerken kayma veya yapışma sonucu ikinci defa deformasyona uğrar ve kesme bölgesinden atılır (Groover, 1996).



Şekil 2.3 Gerçek talaş oluşumu (Groover, 1996).

## 2.4 TALAŞLI İMALAT İŞLEMİNDE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Talaşlı imalatta üretilen parçalar gözle incelendiği zaman yüzey her ne kadar düz gibi görünse de gerçekte parça yüzeyindeki gerçek sürtünme alanı parça alanından daha az olmaktadır. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) gereksinimi yaklaşık olarak  $1,6 \mu\text{m}$ 'yi geçtiği durumlarda çoğu zaman imalatçılar yüzey pürüzlülüğü ölçmekten çok görsel kontrolü seçerler. Yüzey pürüzlülüğünün çok önemli olduğu durumlarda yüzey pürüzlülüğü kalite kontrolü gerekir. Bunun için uluslararası yüzey pürüzlülük standartları belirlenmiştir. Ülkemizde TS 2040 nolu yayımla yüzey kaliteleri bir standarda bağlanmıştır. Daha sonra bunu TS 2495, TS 971, TS 2578, TS 6956 ve TS 930 standartları izlemiştir (Özses, 2002; Bayrak, 2002).

### 2.4.1 Yüzey Pürüzlülüğünün Önemli Olduğu Durumlar

Yüzey pürüzlülüğü birçok alanda önemli bir parametredir. Bunların bazıları;

- Sürtünmeli yataklar,

- Korozyon ortamında çalışan parçalar,
- Yuvarlanmalı yataklar,
- Boyanmış ve kaplanmış yüzeyler,
- Sızdırmazlık yüzeyleri,
- Plastik enjeksiyon kalıp yüzeyleri,
- Masterlar vb. (Özses, 2002).

#### 2.4.2 Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler

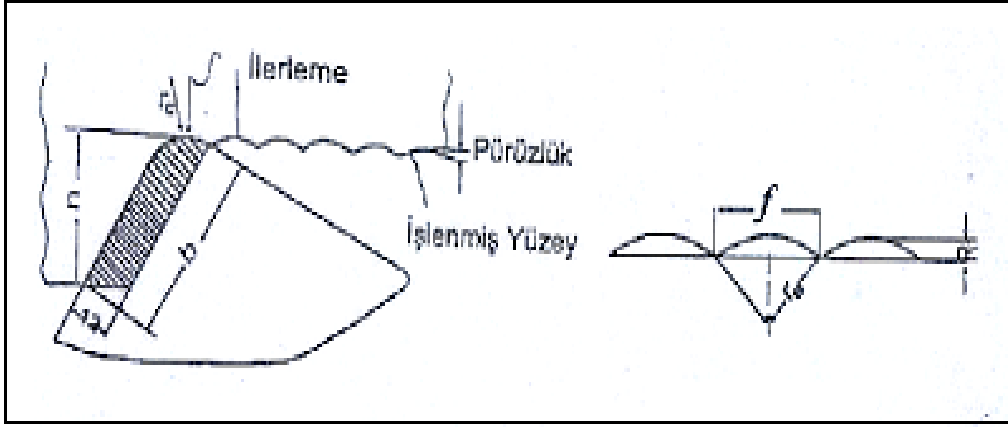
Talaşlı imalat esnasında yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametreler şunlardır:

- Takım tezgâhının rijitlik durumu,
- Yataklama sisteminden kaynaklanan hatalar,
- Takım tutucu rijitlik durumu,
- Takım aşınmasının etkileri,
- Takım geometrisi,
- Kesme parametreleri,
- Malzemenin mekanik özellikleri,
- Soğutma sıvısının etkileri (Özses, 2002).

#### 2.4.3 Yüzey Pürüzlülüğünün Oluşumu

İdeal yüzey pürüzlülüğünün oluşumu Şekil 2.4'de şematik olarak gösterilmektedir. Uygulamada, genellikle aşağıda tanımlanan ideal pürüzlülük şartlarına ulaşmak mümkün değildir. Normalde gerçek pürüzlülükte en etkili pürüzlülük tipi doğal yüzey pürüzlülüğüdür. Doğal yüzey pürüzlülüğüne sebep olan en önemli faktörlerden biri yığıntı talaş oluşumudur. İdeal yüzey pürüzlülüğü, geometrik hesaplamalarla elde edilen ve aşağıda verilen eşitlikle elde edilir (Shaw, 1985).

$$Ra = 0,064 \times f^2 / 8r \quad (2.1)$$



Şekil 2.4 İlerleme hızı ve takım uç yarı çapının yüzey pürüzlülüğüne etkisi (Shaw, 1985).

Yığıntı talaş devamlı olarak birikir, dağılır ve dağılan sert parçalar iş parçasına sürtünür. Talaş takım sürtünmesini azaltan ve yığıma uç oluşumunu azaltan takım geometrisi ve kesme parametreleri daha düzgün yüzey oluşmasını sağlar. Genelde yüzey pürüzlüğü değerleri olarak taşlama işlemi için  $0,05-1,6 \mu\text{m}$ , finiş tornalama için  $0,1$  den  $1,0 \mu\text{m}$ , frezeleme ve kaba tornalama için ise  $1,6 \mu\text{m}$ 'den daha yüksek olan  $R_a$  değerleri kabul edilebilir (Özses, 2002).

#### 2.4.4 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Teknikleri

Çeşitli şekillendirme işlemleri sonucu oluşan yüzey pürüzlülük değerlerini belirlemek için farklı metotlar mevcuttur. Talaşlı imalat metotlarıyla elde edilen yüzeylerin pürüzlülük değerlerinin belirlenmesinde izleyici uca sahip cihazlar kullanılır.

İzleyici uçlu cihazlar: Çok sivri bir izleyici ucun parça üzerinde değerlendirme uzunluğu boyunca hareket ettirilmesi ve hareket esnasında oluşan titreşimlerin büyütülerek hareketli bir şerit üzerine aktarılması veya elektronik cihazlar yardımıyla yorumlanması esasına dayanır. İzleyici ucun inceliği ölçüm esnasında doğruluk açısından önem arz ettiğinden genelde iğne olarak  $90^\circ$  uç açılı ve  $4-12 \mu\text{m}$  yarıçapa sahip iğneler kullanılmaktadır. Kullanımı en kolay ve ideal bir ölçüm sistemidir (Bayrak, 2002).

Optik metot: Bir yüzey üzerine yansıtılan ışının geliş açısı ile yansıma açısı aynı olacaktır. Pürüzlü yüzeylerde ışının dağılımı optik sensörlerle ölçülerek yüzey pürüzlülüğü ölçülmektedir.

Temas metodu: Yüzey üzerinde dolaştırılan bir probun sürtünme katsayısı bilinen bir yüzeye göre elde edilen neticelerinin karşılaştırılması esasına dayanır.

Mekanik metot: Çelik bilye kullanılarak en düşük 500 g ağırlığın yüzeyde; yüzeyin içine doğru 1 mikronluk yer değiştirmesi ile yapılan yüzey pürüzlülüğü ölçme tekniğidir.

Hidrolik metot: Belli eğim ve uzunluktaki bir düzlemde ve belli hacimde yağ damlasının akış süresi ile pürüzlülük değeri arasında kurulan bir ilişki ile pürüzlülük değeri ölçülmesi esasına dayanır.

Yüzey dinamometresi metodu: İki yüzey arasındaki sürtünme katsayısı, parçaların pürüzlülük değerine bağlıdır. İki parça birbiri üzerinde kaydırılarak ve uygulanan kuvvet dinamometre ile ölçülerek pürüzlülük hakkında bilgi edinilebilir.

X ışını metodu: Mikroskop altında yüzey düzensizliklerinde küçük açılarla gönderilen X ışınları ile 0,00254-0,0508 µm arasındaki pürüzlük değerleri ölçülebilir.

Elektron mikroskobu metodu: Elektron mikroskobu en küçük düzensizlikleri ölçme gücüne sahip olmasına rağmen ölçme boyutunun küçük tutulması zorunluluğu ve görüntünün kopyalanması gibi sorunlar bu metodu sınırlamaktadır.

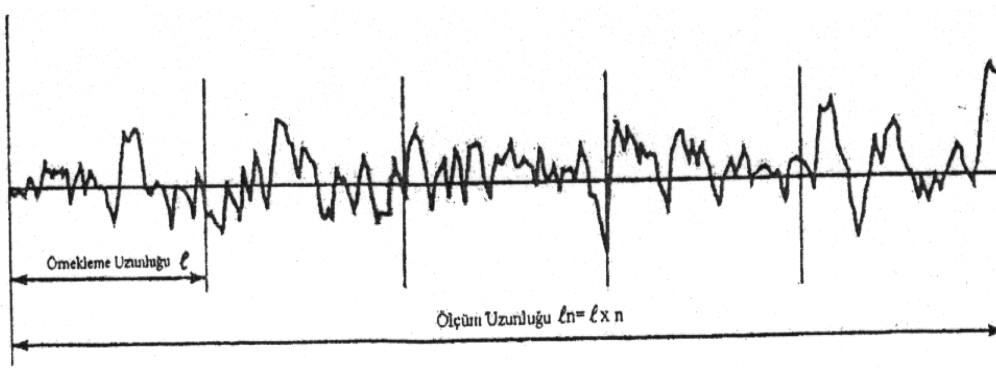
Replika metodu: Parça üzerindeki konumu nedeniyle ölçüm yapılacak yüzeye erişilemediği durumlarda yüzeye selüloz - asetat filmi, asetonla yumuşatılarak sertleşene kadar temizlenmiş yüzeye bastırılırsa elde edilen maske yüzey karakteri hakkında %80 oranında bilgi verir.

Elektro fiber optik metot: Yüzey pürüzlülüğü ölçülecek malzeme X,Y yönünde hareket edebilen tablaya bağlanarak yatay konuma getirilir. Fiber optik algılayıcı ile parça yüzeyine dik olarak ışın gönderilir. Parça yüzeyinin pürüzlülüğüne göre dağılan ışınlar fiber optik algılayıcılara bağlanmış foto algılayıcılarla yorumlanarak pürüzlülük değeri bulunur (Özsés, 2002).

## 2.4.5 Yüzey Pürüzlülük Parametreleri

### 2.4.5.1 Örnekleme Uzunluğu ve Örnekleme Sayısı

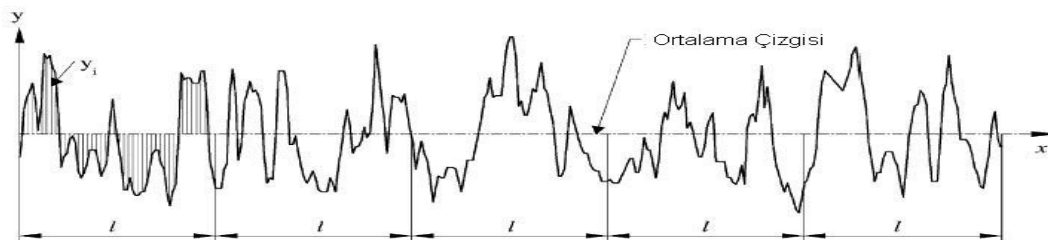
Şekil 2.5'te  $l$  ile ifade edilen örnekleme uzunluğu kesicinin ilerlemesini temsil edecek büyüklükte seçilmelidir. Profil üzerinde değerlendirilen bütün örnekleme uzunluklarının bir araya gelmesi ile  $Ln$  ile ifade edilen ölçüm uzunluğu oluşur.  $Ln$  uzunluğu  $n \geq 5$  olmak üzere, örnekleme uzunluğu ( $l$ ) ile  $n$  çarpılarak elde edilir ( $Ln = l \times n$ ) (Gadelmavla and Koura, 2002).



Şekil 2.5 Örnekleme uzunluğu ve sayısı ile ölçüm uzunluğu (Gadelmavla and Koura, 2002)

### 2.4.5.2 Ortalama Çizgisi

Ölçme uzunluğu içinde profilin üstte ve altta kalan alanlarının eşit olduğu yerden geçen doğrudur (Özsés, 2002). Şekil 2.6'da tipik yüzey pürüzlülüğü üzerinde ortalama çizgisi gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiksel ifadesi (Gadelmavla and Koura, 2002).

### 2.4.5.3 Ortalama Yüzey Pürüzlüğü (Ra)

Şekil 2.6’da gösterildiği gibi ortalama çizgisinin altında ve üstünde oluşan mutlak yükseklik değerlerinin aritmetik ortalama değeridir. Kalite kontrolünde dünya çapında kabul görmüş bir yüzey pürüzlülük parametresidir. Bu parametrenin tanımlaması ve ölçmesi kolaydır. Yükseklik dağılımları hakkında genel bir tanımlama getirdiği için dalga boyu ve profildeki hassas değişimler hakkında yeterli bir bilgi vermez. Matematiksel tanımlaması aşağıdaki şekilde ifade edilebilir (Gadelmavla and Koura, 2002).

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \quad (2.2)$$

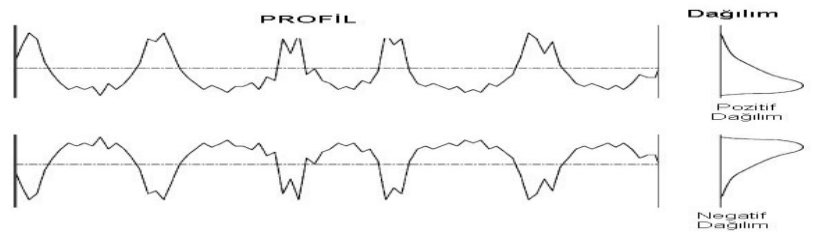
$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad (2.3)$$

### 2.4.5.4 Genlik Dağılım Eğrisi (Rsk)

Şekil 2.7’de gösterildiği gibi bu parametre profil genlik yoğunluğun ortalama çizgiye göre simetrisini belirten dağılım eğrisidir. Aynı Ra ve Rq değerine sahip profilleri ayırt etmeye yarayan bir değişkendir. Matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir (Gadelmavla and Koura, 2002).

$$R_{sk} = \frac{1}{R_q^3} \int_{-\infty}^{\infty} y^3 p(y) dy \quad (2.4)$$

$$R_{sk} = \frac{1}{NR_q^3} \left( \sum_{i=1}^N Y_i^3 \right) \quad (2.5)$$

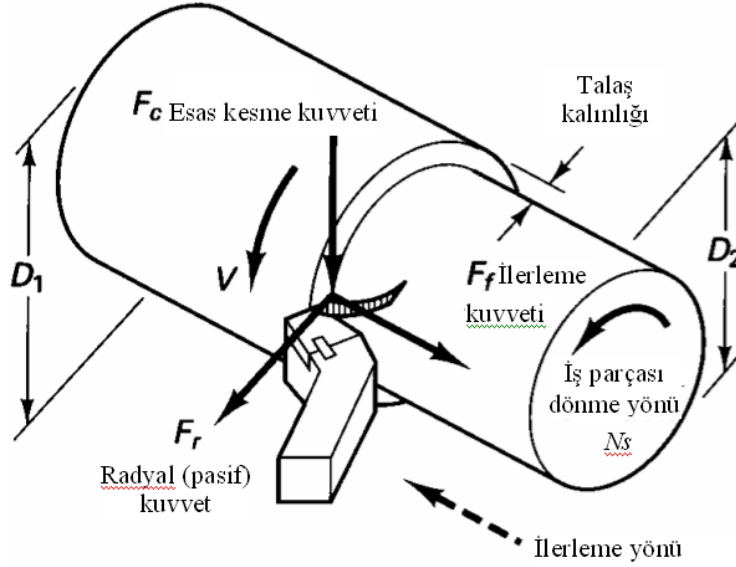


Şekil 2.7 Profil ve genlik dağılım eğrisi (Gadelmavla and Koura, 2002).

## 2.5 TALAŞLI İMALAT İŞLEMİNDE KESME KUVVETLERİ



Talaş kaldırma işlemi esnasında oluşan kesme kuvvetleri, ısı oluşumu, takım ömrü, işlenen yüzeyin kalitesi ve iş parçasının boyutları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kesme kuvvetleri aynı zamanda takım tezgahlarının, kesici takımların ve gerekli bağlama kalıplarının tasarımında da kullanılır (Trent, 1989; Şeker vd, 2002). Tornalama işlemi esnasında oluşan kuvvetler Şekil 2.8’de şematik olarak gösterilmiştir (DeGarmo et al, 1997).



Şekil 2.8. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri (DeGarmo et al, 1997).

Burada kesme kuvvetinin üç bileşeni mevcuttur.

1. Esas kesme kuvveti ( $F_c$ ): Kesme hızı yönünde etki eder. En büyük kuvvet olup metal kesme işleminde harcanan gücün genelde % 99’una karşılık gelir.
2. İlerleme kuvveti ( $F_f$ ): Kesici takımın ilerlemesi yönünde etkiyen kuvettir. Kesme kuvvetinin ekseriyetle yaklaşık %50’si kadardır fakat ilerleme hızının kesme kuvvetiyle karşılaştırıldığında çok küçük olduğu için metal kesme işlemindeki gerekli gücün çok az bir kısmına karşılık gelir.
3. Radyal kuvvet ( $F_r$ ): İşlenen yüzeye dik etkiyen kuvettir. Bu kuvvet de ilerleme kuvvetinin yaklaşık %50’si kadardır (DeGarmo et al, 1997).

Bileşke kuvvet bu üç kuvvetin vektörel olarak toplanması ile elde edilir ve aşağıdaki eşitlikle hesaplanır:

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_r^2}$$

## 2.6 İŞ PARÇASI MALZEME ÖZELLİKLERİNİN İŞLENEBİLİRLİĞE ETKİSİ

İşlenebilirliğin değerlendirilmesi ve işleme şartlarının optimizasyonu amacı ile yaygın kullanılan iş parçası malzemeleri gözden geçirildiğinde öncelikle temel malzeme özellikleri ve bunların işlenebilirliği nasıl etkilediği dikkate alınmalıdır.

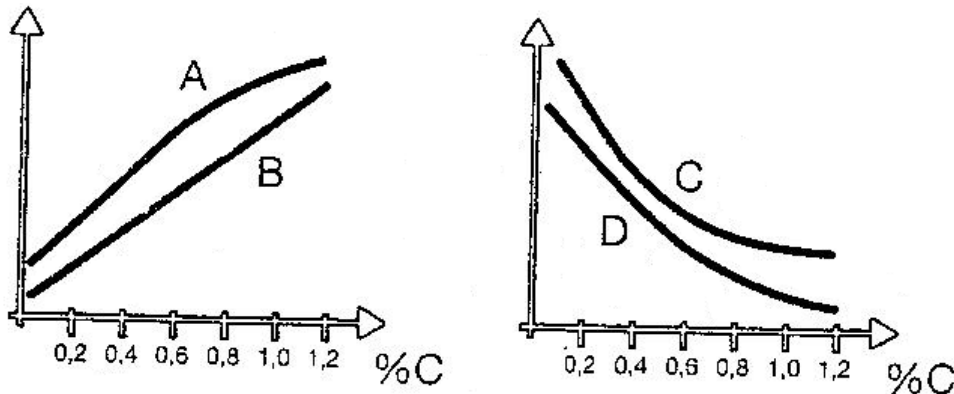
Şekil 2.9'da iş parçası karbon muhtevası ile değişen dört temel mekanik malzeme özelliğindeki genel eğilimi göstermektedir. Bunlar;

A: Çekme Dayanımı

B: Sertlik

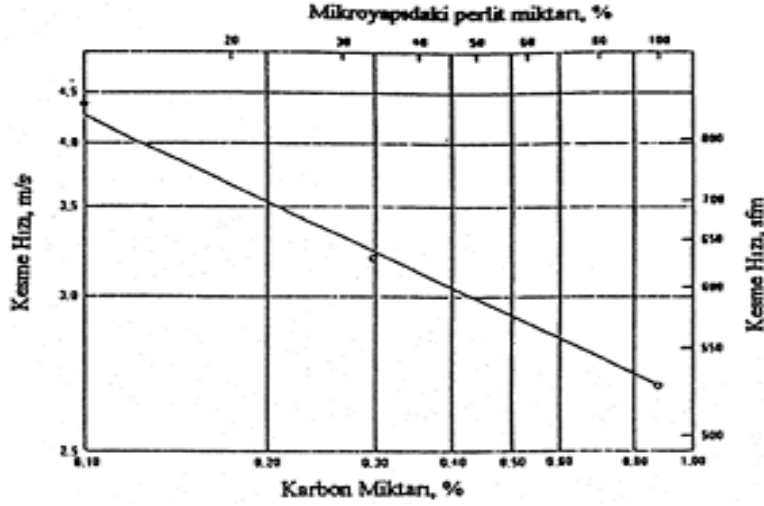
C: Darbe Dayanımı

D: Uzama (Yüzde uzama – süneklik) (Sandvik Coromant, 1997).



Şekil 2.9 Malzemelerin temel mekanik özelliklerinin karbon muhtevası ile değişimi (Sandvik Coromant, 1997).

Çelikte artan karbon miktarı ile birlikte mikro yapıdaki perlit miktarının da artması takım ömrünü azaltacaktır. Şekil 2.10'da kesme hızı üzerine perlit ve karbon miktarının etkisi gösterilmektedir.

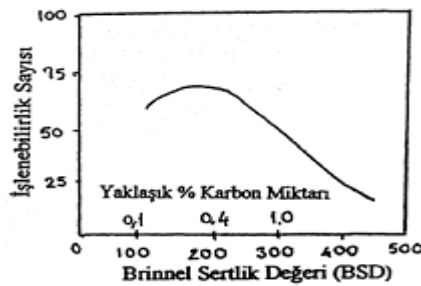


Şekil 2.10 Kesme hızı üzerine Perlit ve Karbon miktarının etkisi (Sandvik Coromant, 1997).

### 2.6.1 Sertlik ve Dayanım

Genellikle, düşük sertlik ve dayanım değeri daha uygundur. Düşük yüzey kalitesine, çapak oluşmasına ve kısa takım ömrüne sebep olan BUE oluşmasından dolayı problemlere yol açan çok sünek malzemeler bu durumun dışındadır. Bu tür malzemelerde soğuk çekme işlemleri ve benzeri yollarla artırılmış sertlik olumlu bir etkiye sahiptir (Sandvik Coromant, 1997).

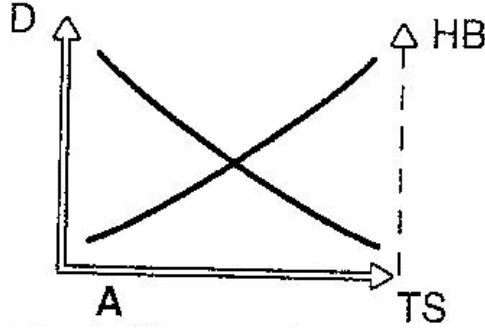
Şekil 2.11'de görüldüğü gibi çeliğin içerisindeki karbon miktarı % 0,4'e kadar arttıkça işlenebilirlik artar. Bu değerin üzerindeki karbon miktarları ise işlenebilirlik değerini azaltır. Genelde sade karbonlu çeliklerin işlenmesi için 180 BSD'deki sertlik yeterlidir. Bu sertliğin altında çeliğin sünekliğinden kaynaklanan yığıntı talaş oluşma eğilimi artar. Kararlı olmayan bir yığıntı talaş iş parçası malzemesinden çok daha serttir. Bu sebeple takımın talaş yüzeyi ile yan yüzeyinde sürtünerek aşınma ve iş parçasının işlenen yüzeyinde bozulma oluşturur.



Şekil 2.11 Karbon miktarının işlenebilirliğe etkisi (Sandvik Coromant, 1997).

## 2.6.2 Süneklik

Düşük süneklik değeri genellikle olumludur. Talaş oluşumu bakımından bir avantajdır ve enerji verimli bir talaş kaldırma yöntemi söz konusudur. Düşük süneklik yüksek sertlikle oluşur ve bunun tersi yüksek süneklik, düşük sertlik demektir. İyi işlenebilirlik, genellikle sertlik ve süneklik arasındaki bir uzlaşma noktasındadır. Şekil 2.12’de çekme dayanımına (TS) karşılık sertlik (HB) ve süneklikteki (D) değişim görülmektedir.



Şekil 2.12 Çekme dayanımına (TS) karşılık, sertlik (H) ve süneklikteki (D) değişim (Sandvik Coromant, 1997).

## 2.6.3 İş Parçası Durumu

İş parçasına ait şartlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Sıcak haddelenmiş,
2. Normalize (ıslah) edilmiş,
3. Tavlanmış (Yumuşatma tavlaması / Gerilim giderme tavlaması),
4. Sertleştirilmiş ve temperlenmiş.

Sıcak haddelenmiş durumdaki iş parçası genellikle homojen olmayan, kaba bir yapıya sahiptir. Bunun sebebi, sıcak haddeleme sonrasında malzeme uzun süre yüksek sıcaklıklara maruz kalır ve bu da nispeten kaba bir yapının oluşmasına sebep olur. İşlenebilirlik açısından bakıldığında, homojen olmayan bu yapı, malzemenin düzgün olmayan dağılım miktarına bağlı olarak, sapmalara/boşluklara sebep olur. Bu da işlenebilirlik açısından olumlu bir özellik değildir (Sandvik Coromant, 1997).

Normalizasyon işlemi sırasında; malzeme östenit bölgesindeki sıcaklığa çıkarılır. Malzeme yapısı tamamen östenite dönüştükten sonra malzeme oda sıcaklığına geri soğutulur. Bu işlem, sıcak haddeleme şartlarından daha ince ve homojen bir yapı elde etmek için uygulanır. Normalizasyonun en temel amacı, malzemenin tokluk davranışını iyileştirmektir. Daha düzgün yapıdan dolayı, işlenebilirlik düzeyinde de bir iyileşme sağlanır.

Yumuşatma tavlama durumu, gerçekte malzemeyi yumuşatmak için uygulanan bir işlemdir. İşlem sırasında, perlitteki sementit lameller küresel (yuvarlatılmış) sementite dönüştürülür. Sonuç olarak ferrit matris içinde düzenli dağılmış küresel sementitler oluşur ve sertlik önemli ölçüde düşer. Küresel yapıdaki sementitin anlamı, işleme sırasında kesici takımın sementit aşındırıcı taneciklerle çok daha kısa mesafede teması demektir. Normalde, yumuşatma tavlama karbon miktarı %0,5'den fazla olan çeliklerde uygulanır. Yüksek karbon muhtevalarında, optimum işlenebilirlik elde etmek için tam küreselleştirme yapılmalıdır.

Düşük karbon muhtevasında daha yüksek perlit miktarı optimum işlenebilirlik şartları sergiler.

Yumuşatma tavlama "gerilim giderme" tavlama ile karıştırılmaktadır. Gerilim giderme tavlama amacını, isminden de anlaşılacağı gibi malzemede, su verme veya soğuk şekillendirme şartlarında oluşan gerilmelerin giderilmesidir. Eğer bu gerilmeler giderilmeden bırakılacak olursa, talaş kaldırma sırasında serbest kalacak ve iş parçasının doğrusallığını (düzgünlüğünü) ve toleranslarını etkileyecektir. Gerilim giderme tavlama düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilen bir işlem olup yapıyı etkilemez ve dolayısı ile işlenebilirlik üzerinde de etkisi yoktur.

Soğuk şekillendirilmiş bir malzeme genellikle, normalizasyon veya yumuşatma tavlama maruz bırakılır. Genellikle nispeten küçük boyutlu kütükler veya iş parçalarına uygulanır. Küçük iş parçalarında düzenli bir yapı elde etmek daha kolaydır.

Soğuk şekillendirme, alanda küçülme miktarına (deformasyon yüzdesine) bağlı olarak dayanımı artırır. Soğuk şekillendirme aşağıdaki hususlar açısından, işleme şartları için uygun durumlar sergiler:

1. Daha iyi yüzey yapısı,
2. Yığıntı talaş oluşumunu azaltma eğilimi,
3. Çapak oluşmasını azaltma eğilimi.

İş parçasının sertliği, takım aşınmasını önemli derecede etkiler. Yaklaşık 200 HB sertlik değerine sahip malzemelerin sementit karbür takımlarla işlenmesinde orta düzeyde bir aşınma meydana gelir. Sertlikteki artış aşınmayı önemli derecede artırır. Bununla beraber, nispeten yumuşak malzemeler yığıntı talaş oluşturma eğilimi sergiler ve dolayısıyla nispeten sert malzemelerde olduğu gibi işlenebilirliği olumsuz olarak etkiler (Sandvik Coromant, 1997).

#### **2.6.4 Yüzey Tamlığı – Düzgünlüğü**

İşleme sırasında makro kalıntıların sergilediği durumu sergiler ve düşük yüzey kalitesine, ani takım kırılmalarına veya hızlı takım aşınmasına sebep olur. Ön işleme tabi tutulmuş bir malzeme tercih edilmesi, çoğu zaman daha iyi sonuçlar verir. Taslaklar (blok-kütük) üzerindeki büyük toleranslar ekstra işleme operasyonları ve istenen boyutun ve yüzey kalitesinin elde edilmesi için daha fazla çaba sarf etmek anlamına gelebilir. Modern üretimde, en önemli faktörlerden biri de yüzey düzgünlüğü ve kalite gibi özelliklerdir ve kontrollerdir (Sandvik Coromant, 1997).

#### **2.6.5. Alaşım Elementleri**

Malzemedeki alaşım elementleri, malzeme özellikleri üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptir. Karbon, çelikteki mekanik ve işlenebilirlik özelliklerini belirleyen en önemli elementtir. Diğer alaşım elemanları, Nikel (Ni), Cobalt (Co), Mangan (Ma), Vanadyum (V), Molibden (Mo), Niyobyum (Nb), Tungsten (W), Bakır (Cu) gibi alaşım elemanları ise işlenebilirlik üzerinde önemli olumlu etkiye sahiptir. Kükürt (S), Fosfor (P), Kurşun (Pb) bunlara örnek olup kolay işlenebilir çeliklere ilave edilirler. Talaş oluşumu, genellikle sünekliği azaltan alaşım elementleri ile iyileştirilebilir. İş parçası malzemesinin kimyasal analizi, işlenebilirliği konusunda bize çok şey söyler (Sandvik Coromant, 1997).

## BÖLÜM 3

### PASLANMAZ ÇELİKLER

#### 3.1. GİRİŞ

Normal alaşımsız ve az alaşımlı çelikler korozyon etkilere karşı dayanıklı olmadıklarından, bu tür uygulamalar için genellikle paslanmaz çeliklerin kullanılması gerekir. Demir esaslı malzemeler içinde paslanmaz çelikler son 25 yıl içinde kullanımı hızla artan malzeme grubudur. Paslanmaz çelikler mükemmel korozyon dayanımlarının yanında, değişik mekanik özelliklere sahip türlerinin bulunması, düşük ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilmesi, şekil verme kolaylığı ve estetik görünümü gibi özelliklere sahiptirler (Sarıtaş, 2004).

Aslında çelikler diğer demir alaşımlarının büyük bir kısmı gibi atmosferde oksitlenirler ve yüzeylerinde pas olarak adlandırdığımız bir oksit tabakası oluşur. Alüminyum ve çinkonun tersine çeliğin yüzeyini kaplayan tabaka yüzeyde oluşan koruyucu oksit, pas ve oksitlenmenin iç kısımlara ilerlemesine engel olmaz. Paslanmaz çeliklerde ise korozyon direnci artan krom miktarına bağlı olarak yükselmektedir. Bu olay üzerine yani çeliğin paslanmazlığı konusunda birçok spekülasyon görüşleri olmuştur. Bunlarda en kabul göreni, sıkı ve ince bir krom oksit tabakasının paslanmaz çelik üzerinde oluşturduğu ve bu tabakanın oksidasyonun ve korozyonun ilerlemesine engel olduğudur. Gerçekten, elektro-kimyasal gerilim serisine bakıldığında krom, demirden daha az asal olan bir metaldir. Çeliğin içeriğindeki kromun koruyucu etkisi, krom ile oksijen arasındaki ilişkiden ileri gelmektedir. Krom içeren çeliklerin yüzeyleri bir krom oksit tabakası ile örtülü olmadıkları sürece korozyona ve özellikle oksidasyona karşı çok hassastırlar; bu hale "aktif" denir. Buna karşın bu oksit tabakası oluşma olanağı bulunduğu anda metali korozyon ortamlarına karşı korur, dolayısıyla da çelikler "pasifleşmiş" olur. Pasivitenin sınırları ile derecesi ortamın aktivitesi ile paslanmaz çeliğin tür bileşimine bağlıdır. Koşulların uygun olduğu hallerde pasivite kalıcıdır ve paslanmaz çelik çok yavaş bir korozyon hızına sahiptir.

Bu pasif film yok olduğunda ve yeniden oluşması için gerekli koşullar bulunmaması halinde paslanmaz çelik de normal karbonlu ve az alaşımlı çelikler gibi korozyona uğrayabilir. İşte bu bakımdan paslanmaz çeliğin korozyon direncinin oluşması için en az %12 Cr içermesi ve ortamda da oksijen bulunmasına gerek vardır (Çakır, 1999; Kurt, 1988; Güventürk 1990; Kaluç, 1995).

### **3.2 PASLANMAZ ÇELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI**

İçerdikleri diğer katkı elementlerine göre değişen ve tamamen östenitik ile tamamen ferritik özellikler aralığında sıralanan beş farklı çeşit paslanmaz çelik türü vardır.

Bunlar sırası ile:

1. Östenitik Paslanmaz Çelikler
2. Ferritik Paslanmaz Çelikler
3. Martenzitik Paslanmaz Çelikler
4. Çift Fazlı (Dubleks) Paslanmaz Çelikler
5. Çökeltme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çeliklerdir (Sarıtay, 2004).

#### **3.2.1 Östenitik Paslanmaz Çelikler**

Bu tür paslanmaz çeliklerin bileşimlerinde %12 ~ 25 Cr ve %8 ~ 25 Ni içerirler. Nikel, kuvvetli bir östenit yapıcı olduğundan, bu çeliklerde katılaşma sırasında ortaya çıkan östenit oda sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda bile dönüşmeden kalır. Soğuma sırasında Östenit – Ferrit dönüşümü olmadığından su verme yolu ile sertleştirilemezler. Bu grup içinde en fazla bilinen 18/8 çeliği diye isimlendirilen, bileşiminde %18 Cr ve %8 Ni içeren türdür. Mıknatıslanamayan bu tür paslanmaz çeliklere korozyon dayanımını artırmak için bir miktar molibden de katılır (Makine Mühendisi).

Östenitik paslanmaz çelikler genellikle nemli ortamlarda kullanılırlar. Artan krom ve molibden içerikleri agresif çözeltilere karşı korozyon dirençlerini artırıcı rol oynar. Yüksek nikel içeriği gerilmeli korozyon çatlamaına karşı riski azaltır. Östenitik paslanmaz çelikler katılan alaşım elementlerinin miktarına bağlı olarak genel korozyona, çukurcuk ve aralık korozyonuna dirençleri yükselir. Bu olay çeliğin klor içeren ortamlarda kullanılması



durumunda daha da önemlidir. Çukurcuk ve aralık korozyonuna dirençleri artan molibden ve krom ile artar (Kaluç, 1995). Çizelge 3.1’de östenitik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri, gösterilmektedir (Makine Mühendisi).

Çizelge 3.1 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri (Makine Mühendisi)

Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri						
AISI	Oda Sıcaklığı				Çalışma Sıcaklığı F°	
	Çekme Kuvveti (1000 Psi)	Akma Kuvveti 0.2 % (1000 Psi)	Uzama 2" (%)	Sertlik (Rockwell B')	Devamlı	Kesintili
201	115	55	55	90	1550	1450
202	105	55	55	90	1550	1450
301	110	40	60	85	1650	1500
302	90	40	50	85	1650	1500
302 B	95	40	55	85	1750	1600
304	84	42	55	80	1650	1550
304 L	81	39	55	79	1650	1550
305	85	38	50	80	1650	
308	85	35	50	80	1700	1550
309	90	45	45	85	1950	1850
310	95	45	45	85	2050	1900
314	100	50	40	85		
316	84	42	50	79	1650	1550
316 L	81	42	50	79	1650	1550
317	90	40	45	85	1700	1600
321	90	35	45	80	1650	1550
347	95	40	45	85	1650	1550

Östenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin üretimlerinde, sıvı halden itibaren katılaşma başlayınca, östenit ve  $\delta$ -ferrit taneleri oluşmaya başlar. Bu ferrit, östenitin dönüşümü sonucunda ortaya çıkan ferritten farklıdır. Katılaşma, normal olarak çeliklerin yapısı östenit taneleri arasına serpilmiş  $\delta$ -ferrit taneciklerinde oluşur. Bu faz, krom ve ferriti dengeleyen elementler yönünden zengin, nikel ve östeniti dengeleyen elementler yönünden fakirdir. Bu fazın oluşumu çelik üreticilerinin istemediği bir durumdur: zira malzemenin sıcak şekillendirilmesini zorlaştırır ve malzemedeki çatlakların oluşumunu teşvik eder. Bu fazın sürekli olarak tanecik sınırlarında bulunması korozyon direncini azaltır. Ayrıca, yüksek sıcaklıklarda uzun süre  $\delta$ -ferrit fazıyla karşı karşıya kalınması sonucunda da, malzemenin

mukavemetini ve şekillendirilebilme kabiliyetini azaltıcı yönde etkileyen sert ve gevrek sigma fazının oluşumu gibi sorunlarla karşılaşılır.

2XX serisinde, en çok %7 nikel, %5 ile %20 arasında mangan bulunur ve azotun östenit içinde çözünürlüğü sayesinde dayanım artabilir. Katı çözümlerde bulunan kristal kusurların içine yerleşen azot, östenit iç yapının mukavemetini artırır. 3XX serisi ise daha fazla nikel ve en çok %2 mangan içerir. 301 ve 304 kaliteleri en az alaşımlı olan türlerdir ve 3XX serisinin temel alaşımları olarak kabul edilirler. Mükemmel şekillendirilebildiği, sünekliği ve yeterli korozyon dayanımı ile 304 kalite östenitik çelik en yaygın olarak kullanılan paslanmaz çeliktir (Sarıtış, 2004).

### **3.2.2 Ferritik Paslanmaz Çelikler**

Bu tür paslanmaz çelikler %16 ~ 30 Cr ve %0,25 ~ 0,5 C içerirler. Bu tip çeliklerin en önemli özellikleri katı halde bir faz dönüşmesi oluşmadığından su verme yolu ile sertleştirilmeleri ve yüksek sıcaklıkta korozyon ve oksidasyon dirençlerinin yüksek olmasıdır. Bu tür çeliklerin ancak soğuk şekil değiştirme ile sertleştirilmeleri olanaklıdır. Bundan dolayı az miktarda olsa soğuk şekil değiştirmenin neden olduğu sertlik, çeliğin biçimlendirilmesini zorlaştırdığından kullanma oranları azdır. Bu çelikler soğuk şekil değiştirme sertleşmesini ortadan kaldırmak için 750 ~ 800 °C sıcaklıkla yumuşatma tavına tabi tutulur. Çizelge 3.2'de ferritik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri gösterilmektedir (Makine Mühendisi).

Mıknatıslanmayan östenitik grup AISI standardı 300 serisi olarak yer alır. Pek çok tip ihtiva eden bu grup içinden hemen her tatbikat için uygun vasıflı malzeme seçilebilir. Uygulama alanı en geniş olan tipler; 303, 304, 309, 310 ve 316'dır (Güventürk, 1990).

Çizelge 3.2 Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri (Makine Mühendisi)

Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri.						
AISI	Oda sıcaklığı				Çalışma sıcaklığı F°	
	Çekme kuvveti (1000 Psi)	Akma kuvveti 0,2% (1000 Psi)	Uzama 2" (%)	Sertlik (Rockwell B')	Devamlı	Kesintili
406	70	40	30	81	1400	1450
430	75	45	30	83	1550	1660
430F, 430FSe	80	55	25	87	1500	1600
442	80	45	20	90	1800	1900
446	80	50	25	86	1950	2060

### 3.2.3 Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Bu gruba giren paslanmaz çelikler genel olarak %16'dan az Cr içerirler, birleşimlerindeki C miktarı %0,5 ~ %1,2 arasında değişir. Yüksek miktarda C içerenlerde Cr miktarı %18'e kadar çıkabilir. Soğuma hızları yavaş olduğundan martenzit oluşumu çok yavaş meydana gelir (sakin havada). Martenzitik halde korozyon dirençleri çok iyidir. 815 °C ye kadar paslanmazlık özelliklerini yitirmezler. Uzun süre sıcaklığı maruz kalırlarsa hafif korozyon başlangıcı olur. Bundan ötürü endüstride 700 °C üzerindeki sıcaklıklarda kullanılmazlar.

İstenen içyapı ve özellikleri elde etmek için martenzitik paslanmaz çeliklerin, alaşım çeliklerine benzer biçimde ısı işleme (yani östenitleme, su verme ve temperleme) tabi tutulmaları gerekir. Östenitleme sıcaklığı çeliğin türüne göre 950-1050 °C arasındadır. Bu sıcaklıktan çeliğe su verilirse martenzitik bir içyapı elde edilir. Su verme ve temperleme sonrası mekanik özellikler temelde karbon miktarına bağlıdır. Elde edilen sertlik ve mukavemet, karbon yüzdesi ile birlikte artar. Bilişimindeki krom miktarı %16 ve karbon miktarı %0,6 - %1,1 olan çelikler 60 HRC sertlik ve 1900 MPa akma dayanımı gösterebilirler. Bu çeliklerin sertliğinin yüksek oluşu, aşınma dayanımını da iyileştirebilir. %1,1 karbon içeren 440C kalitesi mükemmel aşınma dayanımı gösterirken, %0,1 karbon içeren 410 kalitenin aşınma dayanımı düşüktür.

Korozyon dayanımını ve tokluğunu artırmak için alaşıma molibden ve nikel eklenir. Nikel içeren martenzitik çeliklerde karbonun görevini nikel üstlenir. Bu şekilde karbonun bazı

olumsuz etkileri (karbür çökeltileri, aşırı sertlik gibi) ortadan kaldırılabılır. Nikel aynı zamanda yüksek miktarda kromun etkisini dengeleyerek içyapıyı serbest ferritlerden korur. Ayrıca sertleşme kabiliyeti ve su verme derinliği arttığından, iri parçalara daha ıslah işlemleri uygulanabilir. Molibden ve nikel ilavesi, su verme sonrasında martenzite dönüşmemiş artık östenitlerin oluşmasını önlemek için sınırlı tutmak zorundadır. Bu nedenle korozyon dayanımı orta düzeyde kalmaktadır (Sarıtış, 2004).

Martenzitik çelikler mıknatıslanma özelliğine sahip olup daha çok; ısıl işlem mukavemet gerektiren daha ziyade korozyona maruz yerlerde özellikle (pompa mili ve valf imalatında) kullanılır. En çok kullanılan tipleri, 410 ve 420'dir (Güventürk, 1990).

### **3.2.4 Çift Fazlı (Dubleks) Paslanmaz Çelikler**

Çift bazlı bir iç yapıya sahip, ferrit taneleri içinde östenit veya östenit taneleri içinde ferrit içeren bu tür paslanmaz çeliklerin östenitik paslanmaz çeliklere nazaran en önemli üstünlükleri akma mukavemetlerinin iki kat daha büyük olmaları ve çok daha iyi korozyon dirençleri göstermeleridir.

Endüstriyel uygulamalarda klor içeren sıvıların kullanılması, kullanılacak malzemelerin bilinen paslanmaz çeliklere göre (316L) arttırılmış mukavemet ve geliştirilmiş korozyon dirençlerine sahip olmalarını gerektirir. Bu tür çelikler, tane büyüklüğü 3-10 $\mu$ m' ye kadar küçültülebildiğinde, 950°C civarında %500 gibi bir çekme uzaması göstererek süper plastik hale gelirler.

Dubleks paslanmaz çelikler basit anlamda iki ayrı fazı (ferrit ve östenit) bünyelerinde bulundurur. Dolayısı ile ferritik-östenitik veya östenitik-ferritik 24 paslanmaz çelikler olarak tanımlanırlar. Daha öncede belirtildiği gibi ferritik ve östenitik paslanmaz çeliklerin en iyi ortak özelliklerini taşırlar. Ferritik yapıyla mukavemet ve gerilmenin korozyon çatlamasına direnç, östenitik yapı ile tokluk ve genel korozyon direnci sağlanır. Böylece iki fazlı, ince taneli, yüksek mukavemetli ve iyi korozyon dirençli bir çelik ortaya çıkmaktadır (Kaluç, 1995).

### 3.2.5 Çökeltme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler (Ph)

Bu çeliklere çökeltme sertleşmesi (yaşlandırma) uygulanabilir. Bunların esas iç yapıları östenitik, yarı östenitik veya martenzitik olabilir. Bu çelikler çok düşük miktarda karbon ihtiva ettiklerinden martenzitik türlerinde bile temel sertleşme ancak çökeltmeye bağlı olarak gerçekleşir. Çökelti oluşumunu sağlamak için alüminyum, titanyum, niyobyum ve bakır elementleri ile alaşımlama yapılır. Çökeltme sertleşmesi uygulanabilen çelikler, iyi süneklik ve tokluk yanında orta ile iyi derece arasında korozyon dayanımı gösterirler. Bu çeliklerde, martenzitik çeliklerle kıyaslandığında, mukavemet ve korozyon dayanımlarının iyi bir kombinasyonu elde edilir. Bu durum yüksek miktardaki alaşımlı elementleri ve en çok %0,04 karbon bulunmasından dolayıdır, ancak bunun sonucu aşınma dayanımında düşüş gözlenir.

Çökeltme sertleşmesi uygulanabilir paslanmaz çelikler 1700 MPa değerine kadar çıkan akma dayanımlarına sahiptirler. Soğuk şekillendirme ve onu izleyen yaşlandırma ile bu değer daha da yükseltilebilir. En yaygın olarak kullanılan türü 630 kalite olan bu grubun kullanım alanı uçak-uzay ve diğer yüksek teknoloji alanlarıdır (Sarıtış, 2004).

### 3.2.6 Alaşım Elementlerinin Çelik Yapısına Etkisi

Karbonlu çeliklerin normal olarak sağlanamayan kendine has özellikleri kazanmak için, bir veya birden fazla alaşım elementi katmak suretiyle yapılan çelikler alaşımlı çeliklerdir. Mn, Si gibi alaşım elementlerinin bir veya birden fazlasının, çeliğin içindeki değerleri Mn %1,65, Si %0,60'dan fazla olan ve bunlara öteki elementlerden Al, B, Cr, Co, Mo, Ni, Ti, W, V ve Zr elementlerinin birinin veya birkaçının bulunması istenen çelikler, alaşımlı çelikler sınıfına girer.

Alaşımlı çeliğin, alaşım elementlerinin alt ve üst limit değerleri arasındaki fark çok az olup, alaşım elementi sayısı arttıkça, alınacak dökümlerde uygun olmayanların sayısı fazlasıyla artar. Alaşımlı çelik ingot ve kütüklerin gerek yüzünde gerekse içinde meydana gelmesi muhtemel çatlamalara neden olmaması için, özel kuyu ocaklarında ağır ağır soğutulur. Ayrıca haddeleme ve dövme işlemlerinden önce son olarak hatalar giderilir. Bu nedenlerden ötürü alaşımlı çelik yapımı, karbonlu çeliklere kıyasla daha zordur (Çakırca, 1999; Güventürk, 1990).

### **3.2.6.1 Krom (Cr)**

Krom, bir çeliğin dayanma özelliğini artıran fakat buna karşılık, esnekliğini çok az bir dereceye kadar eksi yönden etkileyen bir alaşım elementidir. Krom çeliğin sıcağa direncini artırır. Tufal yapmayı önler, içinde yüksek oranda krom bulunması; çeliğin paslanmaya ve aşınmaya karşı dayanmasını artırır. Ferrit oluşumunda etkili olur. Oksidasyon ve korozyon dayanımını yükseltir.

### **3.2.6.2 Molibden (Mo)**

Ferrit oluşumunda etkili olur. Yüksek sıcaklıklardaki dayanımı artırır ve redükleyici ortamlarda korozyona karşı dayanım sağlar.

### **3.2.6.3 Niobyum, Titanyum (Nb)**

Taneler arası korozyon hassasiyetini azaltmak amacıyla, karbonla birleşerek karbür oluşturması amacıyla yapıya eklenir. Tane küçültücü etkisi vardır. Ferrit oluşumuna katkıda bulunur. Sürünme dayanımı sağlar, ancak sürünme sünekliğini azaltır.

### **3.2.6.4 Karbon (C)**

Çelikte başlıca sertleştirici etkisi olan element, karbondur. Karbon miktarındaki her artış, çeliğin sıcak hadde mamulü veya normalize edilmiş halindeki sertlik ve çekme direncini artırır. Fakat esnekliğini, dövülme, kaynak edilme ve kesilme özelliğini zayıflatır.

### **3.2.6.5 Bakır (Cu)**

Genelde özellikleri iyileştirir. Ancak özel olarak pek katılmaz. Dövmeyi zorlaştırdığı için istenmez.

### **3.2.6.6 Silisyum (Si)**

Silisyum, mangan gibi bütün çeliklerde bulunan bir elementtir. Çelik yapımında demir cevherinden, veya ocak astan olan tuğlalardan da bir miktar silis, çeliğin bünyesine

kendiliğinden girer. Silisyumlu çelikler deyimi, bileşiminde %0,40 dan fazla silisyum olan çelikler için kullanılır. Silisyum, çelik dökümlerde mekanik direnci ve özgül ağırlığı artırır.

### **3.2.6.7 Mangan (Mn)**

Oda sıcaklığında ve oda sıcaklığına yakın sıcaklıklarda östenitin stabil ( kararlı ) olmasını sağlar. Ancak yüksek sıcaklıklarda ferrit ve manganer sülfat oluşturur.

### **3.2.6.8 Azot (N)**

Östenit oluşumuna çok kuvvetli etkide bulunur. Bu konuda çoğu zaman nikel kadar etkilidir. Özellikle krayojenik sıcaklıklardaki mukavemet değerlerini yükseltir.

### **3.2.6.9 Alimünyum (Al)**

Alimünyum Nitrür veya dayanıklı çeliklerde, mıknatıs çeliklerinde az kullanılan faydalı bir elementtir.

### **3.2.6.10 Bor (B)**

Çok düşük oranda (%0,001 gibi) ilave edilse bile su vermede sertliğin derinlere erişmesine bilhassa sementasyon çeliklerinde merkez dayanımının artmasını sağlar.

### **3.2.6.11 Wolfram (W)**

Çeliğin dayanımını arttıran bir alaşım elementidir. Takım çeliklerinde, kesici kenarlar sertliğin artmasını kullanımla ömrünün uzamasını ve yüksek ısıya dayanımını sağlar. Bu yönden hava çeliklerinde, takım çeliklerinde ve ıslah çeliklerinde, alaşım elementi olarak yaygın bir şekilde kullanılır.

### **3.2.6.12 Vanadyum (V)**

Çok düşük miktarda kullanıldığında çeliğin sıcağa dayanımını artırır. Vanadyum, alaşımli makine yapı çelikleri tane yapısının ince olmasını ve fiziksel özelliklerinin gelişmesini sağlar.

Aynı zamanda çelik kesici uçlarının, daha uzun zaman keskin kalmasını sağlar. Genellikle alaşımli makine yapım çeliklerinde bulunan vanadyum miktarı %0,03-0,25 arasında değişir.

### **3.2.6.13 Nikel (Ni)**

Nikel, çeliğin direncini silisyum ve mangana kıyasla daha az artırır. Çelikte, nikel, özellikle kromla birlikte bulunduğu zaman, sertliğin derinliklere inmesini sağlar. Krom nikelli çelikler paslanmaz, tufallanmaya ve ısıya dayanıklıdır. Özellikle düşük sıcaklıklarda, makine yapım çeliklerinin çentik direncini artırır. Nikel, ıslah ve sementasyon çeliklerinin direncini artırdığı gibi, östenitik çelikler, paslanmaya ve tufallanmaya dayanıklı çelikler için, uygun bir alaşım elementidir.

## **3.3 PASLANMAZ ÇELİKLERİN İŞLENEBİLİRLİĞİ**

Paslanmaz çeliklerde yüksek çekme mukavemeti ve korozyon direncini sağlamak için gerekli olan malzeme kompozisyonu paslanmaz çeliklerin işlenmesini zorlaştırmaktadır. İşlerken pekleşen kaim bölgeler, tel şeklindeki talaşlar, şiddetli harmonikler ve yüksek işleme sıcaklıkları talaş kaldırma işlemi sırasında büyük rol oynamakta ve takım ömrünü azaltmaktadır. Östenitik paslanmaz çeliklerdeki krom, nikel ve molibden muhtevası bu alaşımların yüksek gerilmeler altında plastik deformasyona uğramasına sebep olmaktadır. Ayrıca, paslanmaz çeliğin soğuk olarak çekilmesi esnasında karbon çeliklerinde oluşan deformasyon sertleşmesi tabakasından daha kaim bir sertleşmiş tabaka oluşur. Ek olarak, kesici takım ile temasta olan yüzey katmanları, malzemenin özüne göre, iki kat daha sert olabilir. Paslanmaz çeliğin plastik deformasyonu için gerekli olan yüksek kesme kuvvetleri ısıyı ve takım aşınmasını artıran ek bir pekleşmeye sebep olurlar (Çiftçi vd, 1999).

Diğer bir problem ise paslanmaz çeliğin sıvanması ve BUE'ye yol açmasıdır. BUE kesici uçlardaki aşınmayı artırarak işlenen parçaların yüzeylerinin bozuk çıkmasına sebep olur. Sıcak talaşlar işlenen iş parçasından uzaklaşırken kesiciyi aşındıran ve işlenen yüzeyi bozan uzun tel halinde oluşurlar. Bunun engellenmesi için operatörün her bir işlenen parçadan sonra talaşları temizlemesi gerekir ki bu durum verimliliği olumsuz yönde etkiler (Çiftçi vd, 1999).

Paslanmaz çeliklerin işlenmesi sırasında, kayma düzlemleri kaynak olmuş dilimli talaşlar, uzun süreli tiz seslerin çıkmasına sebep olur.



Bu sesler kesici uçların çatlamasına ve kırılmasına sebep olacak olan yüksek harmonik frekansların bir işaretidir (Çiftçi vd, 1999).

Yüksek krom ve nikel muhtevassından dolayı paslanmaz çelikler diğerkarbonlu veya alaşımlı çeliklerden daha yüksek süneklığe ve daha düşük ısıl iletkenliğe sahiptir. Bu nedenle talaş kaldırmak için gerekli olan yüksek enerji, talaşlarla birlikte iş parçasından uzaklaşmak yerine kesme bölgesinde hapsolur. Kesme bölgesinde oluşan ısı arttıkça iş parçası ve kesici üzerindeki aşınma mekanizmaları da hız kazanır. Bu durum kesicilerde çatlaklara sebep olabilecek ısıl genleşmeyi ve ısıl yorulma mekanizmasını hızlandırır. Artan ısı, krater aşınmasını artırarak, ucun kırılma riskini çoğaltır (Çiftçi vd, 1999).



## BÖLÜM 4

### YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

#### 4.1 GİRİŞ

Üretilen bir makine elemanının fonksiyonunu yerine getirebilmesinde yüzey kalitesinin önemi büyüktür. Elemanın düz yüzeylilik veya yuvarlaklık gibi özelliklerinin yanı sıra işleme yöntemine bağlı olarak, yüzeyin mikro yapısına da dikkat edilmesi gerekir. Talaş kaldırma ve yüzey işleme işlemlerinde uygun kesme ve işleme parametrelerinin seçimi sayesinde arzu edilen yüzey kalitesinin sağlanması mümkündür. Örneğin sert parçaların torna veya frezelenmesinde, CBN kesici takımlarla, yüksek kesme hızlarında taşlama işlemine yakın veya daha iyi yüzey kalitesi elde edilebilmektedir. Talaş kaldırma işleminin amacı, parçalara sadece bir şekil vermek değil, bunları geometri, boyut ve yüzey bakımından parça resminde gösterilen belirli bir doğruluk derecesine göre imal etmektedir. Buna işlem kalitesi denilmektedir. Parçanın geometri, boyut ve yüzey doğruluğunu kapsayan işleme kalitesi, günümüzde talaş kaldırma işleminin en önemli özelliğidir. Boyut kalitesi parçanın gerçek boyutları arasında müsaade edilen sapmalardır. Bu sapmalar boyut toleransları ile ifade edilirler. Boyut toleransları imalat kalitesine ve boyutun büyüklüğüne göre tayin edilir. Geometri kalitesi, müsaade edilen şekil ve konum sapmalarını içerir. Bunlar ideal şekle göre sapmalar, ideal yüzeye göre sapmalar ve eksensel sapmalar olmak üzere üçe ayrılır (Kandemir ve Özdemir, 1999).

Talaşlı imalat işlemlerinde en önemli husus, işlemin mümkün olan en düşük maliyetle, arzu edilen kalitede gerçekleşmesidir. Makine sanayinde kullanılan hatta bütün malzemeler tek başına çalışamazlar, daima bir çift oluştururlar ve bazen üç veya daha fazla parçanın birbirleriyle çalışmaları gerekir. Burada karşımıza çıkan en büyük sorun yüzeylerin aşınması ve belli bir süre sonunda boşluk oluşmasıdır. Bu da imalatta yüzeyin hassasiyetinin ve mikro yapısının ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

## 4.2 YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

İşlenmiş bir yüzeyin yapısı, kalite açısından en önemli kriterlerden birisidir (Stout, 1998). Malzemelerin işlenmesi anında kullanılan her bir parametre yüzey hassasiyetini etkilemektedir (Griffiths, 2001). Yüzey pürüzlülüğü yüzey kalitesini belirleyen bir parametredir. Yüzey pürüzlülüğü, ilerleme miktarı, paso derinliği, kesme hızı, devir sayısı gibi parametrelere bağlıdır. İşlenmiş parça yüzeylerinin tribolojik özellikleri, yüzey dokusundan birinci derecede etkilenmektedir. Yüzey pürüzlülüğü sadece aşınma, sürtünme ve yağlama gibi tribolojinin geleneksel konularında değil aynı zamanda sızdırmazlık, hidrodinamik, elektrik, ısı iletimi vb. farklı alanlarda da dikkate alınması gereken önemli bir faktördür. Bu yüzden makine parçalarında yüzey pürüzlülük değerinin tespiti oldukça önemlidir.

## 4.3 İMALATTA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

İşlenmiş bir yüzeyin yapısı, kalite açısından en önemli kriterlerden birisidir (Stout, 1998). Malzemelerin işlenmesi anında kullanılan her bir parametre yüzey hassasiyetini etkilemektedir (Griffiths, 2001). Yüzey pürüzlülüğü yüzey kalitesini belirleyen bir parametredir. Yüzey pürüzlülüğü, ilerleme miktarı, paso derinliği, kesme hızı, devir sayısı gibi parametrelere bağlıdır. İşlenmiş parça yüzeylerinin tribolojik özellikleri, yüzey dokusundan birinci derecede etkilenmektedir. Yüzey pürüzlülüğü sadece aşınma, sürtünme ve yağlama gibi tribolojinin geleneksel konularında değil aynı zamanda sızdırmazlık, hidrodinamik, elektrik, ısı iletimi vb. farklı alanlarda da dikkate alınması gereken önemli bir faktördür. Bu yüzden makine parçalarında yüzey pürüzlülük değerinin tespiti oldukça önemlidir (Çoğun ve Özses, 2002).

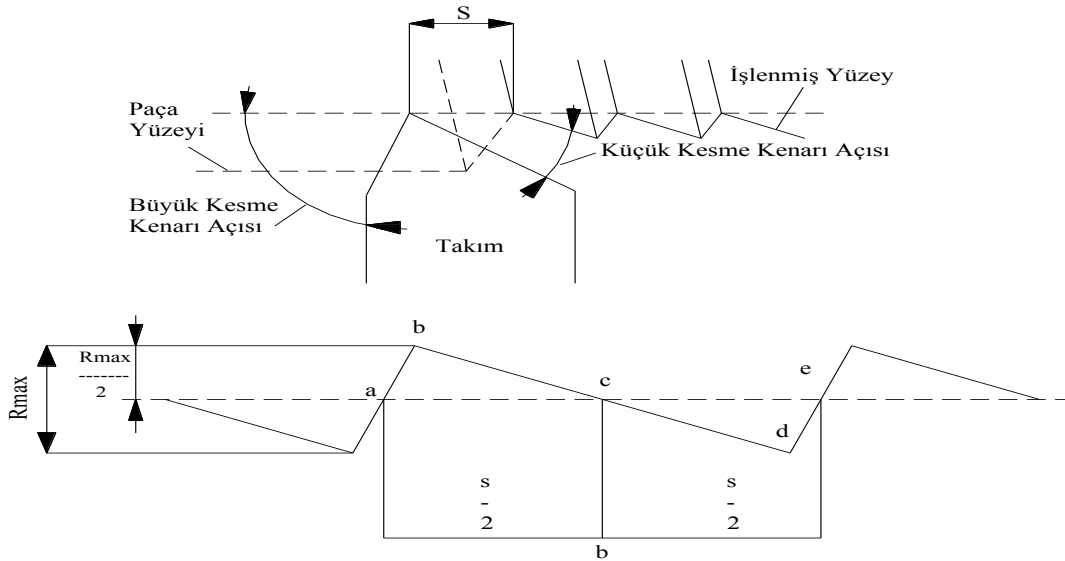
Yüzey pürüzlülüğü, kullanılan imalat metotları ile ve başka etkilerle ortaya çıkan, mutlak tarzda genellikle başka düzensizliklerle sınırlanan oldukça küçük aralıklı yüzey düzensizlikleridir. Kesici takımdan veya üretim sürecindeki diğer problemlerden kaynaklanan yüzey düzensizlikleri pürüzlülük olarak tanımlanır. Pürüzlülük çapraz ilerleme izleri ile diğer düzensizlikleri kapsar.

Talaş kaldırma işleminin amacı, parçalara sadece bir şekil vermek değil, bunları geometri, boyut ve yüzey bakımından parça resminde gösterilen belirli bir doğruluk derecesine göre

imal etmektir. Buna işlem kalitesi denilmektedir. Parçanın geometri, boyut ve yüzey doğruluğunu kapsayan yüzey kalitesi, günümüzde talaş kaldırma işleminin en önemli özelliğidir. Boyut kalitesi, parçanın gerçek boyutları arasında müsaade edilen saplamalardır. Bu sapmalar boyut toleransları ile ifade edilir. Boyut toleransları imalat kalitesine ve boyutun büyüklüğüne göre tayin edilirler. Geometri kalitesi, müsaade edilen şekil ve konum sapmalarını içerir. Bunlar ideal silindirik şekle göre sapmalar, ideal yüzeye göre sapmalar ve eksensel sapmalar olmak üzere üç gruba ayrılır (Korucu, 1996).

#### 4.4 İDEAL YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

İdeal yüzey pürüzlülüğü, kesici takımdaki hatalar, vurunular, kesici uçta oluşan malzeme sıvanması gibi etkenler azaltıldığında, verilen kesici biçimine ve ilerlemeye bağlı olarak mümkün olan en iyi bitirme yüzey değerini gösterir. Şekil 4.1'de görüldüğü üzere en ideal şartlar altında bulunan ideal bitirme yüzeyinin sivri uçlu kesici takımla tornalama operasyonu için verilmiştir (Kocagöbek, 2001).



Şekil 4.1 M Sistemine göre yüzey pürüzlülüğü profili

#### 4.5 YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

##### 4.5.1 İmalatta Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri

İşleme kalitesine etki eden faktörler dört grupta incelenir:

1. Takım tezgahına ait sapmalar; tezgahın kinematik mekanizmasındaki mevcut olan hataların etkisinden, ana mil ile kızak yüzeylerinin paralel olmamasından, tezgahın tüm mekanizmaları ve yataklama sistemlerindeki mevcut olan sapmalar ve boşlukların etkisinden, gövde ve ana milin yeterince rijit olmamasından dolayı oluşur.
2. Tezgah sistemine ait hatalar; ana elemanların imalat hatalarından, tertibatın yeteri kadar rijit olmamasından, ana elemanlarda oluşan hatalardan kaynaklanır.
3. Takım sistemine ait hatalar; takımın konum bakımından hatalı bir şekilde tutturulmasından, kesme kuvvetlerinin etkisi altında şekil değiştirmelerin oluşması ve takımın aşınmasından kaynaklanır.
4. Ortamın etkisi altında meydana gelen hatalar; sıcaklığın oluşturduğu şekil değiştirmeleri ve diğer tezgahlardan gelen titreşimlerden kaynaklanır (Korucu, 1996).

#### **4.5.2 Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Önemli Faktörler**

Gerçek Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Önemli Faktörler şöyle sıralandırılabilir:

1. Kesici takımdaki titreşimler
2. Kesici takım geometrisi
3. İşlenen iş parçasındaki titreşim ve salgılar
4. İşleme takım hareketlerindeki bozukluklar
5. Kesme sırasında ilerleme miktarı
6. Kesme sırasında hız miktarı
7. Verilen talaş derinliği
8. İlerleme mekanizmasındaki düzensizlik
9. Takım ve iş parçasının elastik deformasyonu
10. İş parçalarındaki malzeme yapı bozuklukları
11. Kesici uç üzerine talaşın yapışması
12. Kesme kenarının pürüzlülüğü, birinci ve ikinci kesme kenarında oluşan izler ve aşınma
13. İşlenen malzemelerin süreksiz talaş vermesi Düşük kesme hızıyla işlenen yumuşak malzeme yüzeyindeki yırtılmalar.
14. Talaş akışının sebep olduğu yüzey bozulması
15. İş parçasının talaş kaldırılan yüzeyinden 100 mikrometre derinlikteki fiziksel ve kimyasal özellikler (Özses, 2002).

## 4.6 KESİCİ TAKIM AŞINMASININ ETKİLERİ

Talaş kaldırmada takım aşınması izlenmesi gereken parametrelerden biridir. Serbest yüzey aşınması üretilen parçanın büyüklüğünü ve yüzey kalitesini doğrudan etkiler. Takım aşınmasının belirlenmesinde en önemli amaç üretime ara verilmeden aşınmanın tespit edilebilmesidir. Bu amaçla modern üretim tezgahlarında adaptif denetim mekanizmaları geliştirilmiştir. Otomatik talaş kaldırma işlemlerinde kesici takımın ömrünü tamamlamadan önce değiştirilmesi gerekir. Aksi takdirde üretime devam etmesine rağmen, üretilen parçaların tolerans değerleri uygun olmayacaktır. Kesici uçta ve serbest yüzeyde oluşan aşınmalar yüzey kalitesinde bozulmalara neden olacağı gibi, üretimin kesici takım değiştirilmeden devam ettirilmesi üretim ve takım maliyetlerini arttıracaktır.

## 4.7 TALAŞ ŞEKİLLERİ

Talaşlı imalat işleminde işleme şekli, işlenen malzeme ve işleme parametrelerine göre talaşların biçimi değişir. Oluşan talaşların şekli önemli derecede iş parçasının bitirme yüzeyini ve talaşlı imalat işlemi (takım ömrü, titreşim) etkiler. Talaşlı imalat işlemlerinde oluşan talaşlar aşağıdaki gibi sıralanabilir (Çiftçi, 2005):

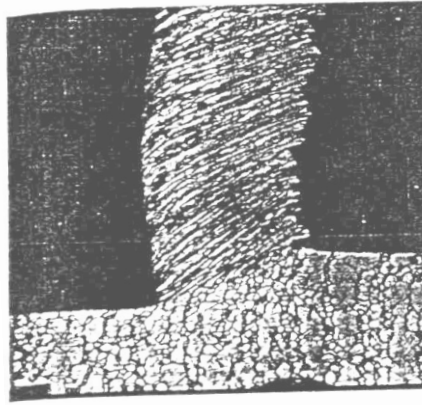
1. Sürekli talaş,
2. Dilimli veya parçalı talaş,
3. Süreksiz talaş,
4. Kesici takımda yığıntı talaş (built-up-edge) olması durumunda talaş,

oluşan talaşın esas olarak iki yüzeyi vardır; bir tanesi kesici takım ile temasta olan yüzey ve diğeri de orijinal iş parçası yüzeyinden gelen kısımdır. Kesici takım talaş yüzeyi ile temas eden yüzey parlaktır ve yanmıştır. Bu parlaklık ve yanma, takım yüzeyinden talaş geçerken sürtünme sonucu oluşur. Diğer yüzey ise takımla veya herhangi bir yüzeyle temas halinde değildir. Kayma mekanizması sonucu gerçekleşen kaba bir yüzeye sahiptir (Çiftçi, 2005).

### 4.7.1 Sürekli Talaş

Yüksek kesme hızları ve talaş açılarındaki sünek malzemelerin işlenmesinde sonucunda oluşur. Genellikle iyi bir bitirme yüzeyi bırakmasına rağmen, sürekli talaş her zaman istenmez.

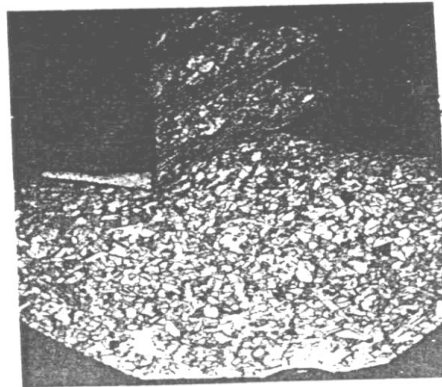
Özellikle, günümüzde yaygın olarak kullanılan CNC takım tezgahları ve otomatik işleme yapan tezgahlarda sürekli talaş, takım tutucu, balgama sistemi ve iş parçası etrafında ve aynı zamanda talaşı uzaklaştırma sistemleri etrafında kıvrılarak karmaşık hale gelir ve dolayısıyla talaşların temizlenmesi için işlem durdurulur. Bu durum da imalat zamanının ve dolayısıyla maliyetin artmasına neden olur. Talaşın işlenen malzeme üzerine sarılması ve talaşı temizlemek için işlemin durdurulması iş parçası yüzey de kalitesini bozar. Bu problem, talaş kırıcılarla ve kesme hızı ve ilerleme gibi işleme parametreleri ve soğutma sıvıları ile azaltılabilir. Şekil 4.2’de sürekli talaş örneği gösterilmiştir (Çiftçi, 2005).



Şekil 4.2 Sürekli Talaş

#### 4.7.2 Dilimli Talaş

Dilimli (parçalı veya homojen olmayan) talaşlar düşük ve yüksek kayma deformasyonuna uğramış bölgelere sahip yarı sürekli talaşlardır. Isıl iletkenliği düşük ve dayanımı sıcaklık artışı ile hızlı bir şekilde azalan metallerde, örneğin titanyum, bu davranış görülür. Bu talaşlar testere dişi şeklinde görünüme sahiptir. Şekil 4.3’de dilimli talaş gösterilmiştir (Çiftçi, 2005).



Şekil 4.3 Dilimli talaş



### 4.7.3 Süreksiz Talaş

Süreksiz talaşlar çoğunlukla aşağıdaki şartlarda oluşurlar:

- a. Kırılgan iş parçası malzemeleri işlenirken, çünkü talaşlı imalat işleminde yüksek oranda kayma deformasyonuna maruz kalma kapasiteleri yoktur.
- b. Sert inklüzyon veya impüsiteler ihtiva eden malzemeler veya yapısında grafit lameller ihtiva eden dökme demir gibi yapılara sahip malzemeleri işlerken,
- c. Çok düşük veya çok yüksek kesme hızları,
- d. Fazla talaş derinliği,
- e. Düşük talaş açısı,
- f. Etkin bir soğutma sıvısının olmaması,
- g. Takım tezgahının rijitliğinin yetersiz olması.

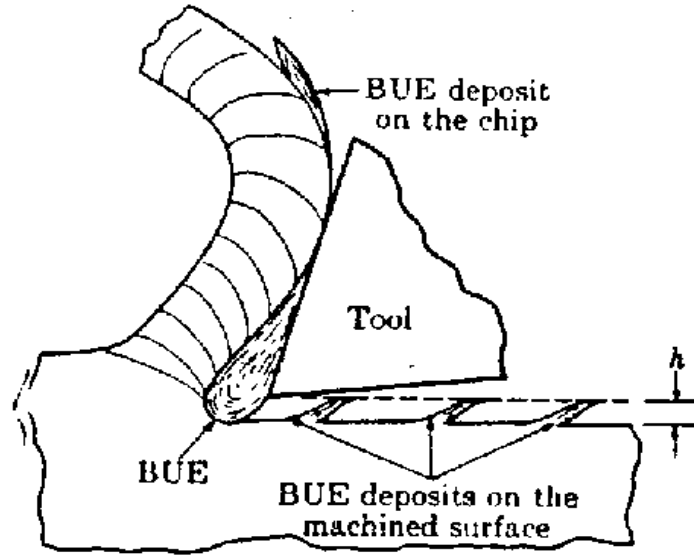
Talaş oluşumundaki süreksiz yapıdan dolayı talaşlı imalat esnasında sürekli olarak kuvvetler değişir. Sonuç olarak takım tutucunun balgama elemanlarının ve takım tezgahının rijitliği dilimli ve süreksiz talaş oluşan kesme işlemlerinde önemlidir. Bunlar, yeterince rijit değilse, takım tezgahı titreşime maruz kalır ve bu da iş parçası yüzeyini bozar ve boyutlarının istenilen toleranslar dışına çıkmasına neden olur. Aynı zamanda takım aşınmasını da hızlandırır. Talaşlı imalat işlemlerinde çoğunlukla helis biçiminde uzunluğu kısa (1 cm) talaşlar tercih edilir (Çiftçi, 2005).

### 4.7.4 Kesici Takımda Yığıntı Talaş (BUE-Built Up Edge)

Talaşlı imalat işlemi esnasında iş parçası malzemenin kesici takım üzerinde katmanlar şeklinde tedrici olarak birikmesi ile oluşan yığıntı talaş (BUE), talaş kaldırma işlemi esnasında kesici takım ucunda oluşabilir. Şekil 4.4'te BUE oluşumu gösterilmektedir (Çiftçi, 2005).

BUE kesici kenar geometrisinde negatif (olumsuz) bir değişikliğe sebep olur ve aynı zamanda takım malzemesi BUE biçimindeki kaynaklanmış malzemeyle birlikte kopup uzaklaşabilir. Kesici takım malzemesi ile iş parçası malzemesi arasındaki yapı benzerliği de BUE

oluşumunda önemli rol oynar. Düşük sıcaklık ve yüksek basınçlar, iş malzemesinin talaştan takımın talaş yüzeyine basınç kaynağı yapmasına (adhesyon) sebep olur.



Şekil 4.4 BUE oluşumu

Yığıntı talaş büyüdükçe kararsız hale gelir ve sonunda devam eden talaşlı imalat işlemi sonucu maruz kaldığı gerilmelere dayanamaz ve kırılarak kesici takımdan ayrılır. Çoğunlukla BUE'nin bir kısmı, kesici takıma temas eden talaş yüzeyi ile uzaklaştırılır kalan kısım da iş parçası yüzeyinde kalır (Çiftçi, 2005).

Yüzey dokusu (pürüzlülüğü) BUE oluşumunda genellikle ilk zarar gören unsurdur, ancak; bu tip aşınmanın devam etmesine izin verilirse çok çabuk kesici kenar kırılması hatta takım kırılması riski vardır. Ancak bazı durumlarda kesici takım aşınması yerini kesici uçta hızlı kırılmalar alabilir.

Deformasyon sertleşmesi ve katmanların sıra ile birikmesi sonucu oluşan BUE'nin sertliği iş parçası malzemesine göre önemli derecede yüksektir. BUE çoğunlukla istenmemesine rağmen, karalı ve ince bir BUE takımın talaş yüzeyini koruyarak aşınmayı azalttığı için çoğunlukla faydalı kabul edilir.

Kesme hızı arttıkça BUE küçülür ve oluşumu elimine edilir. BUE oluşma eğilimi aşağıdakilerle de azaltılabilir:

- a. Talaş derinliği azaltılarak,
- b. Talaş açısı arttırılarak,
- c. Keskin bir takım kullanılarak,
- d. Etkin bir soğutma sıvısı kullanılarak.

Genelde, iş parçası ve kesici takımın birleşme eğilimi yüksek olursa BUE oluşumu için eğilim de artar (Çiftçi, 2005).

#### **4.8 KESME KUVVETLERİNİN ETKİLERİ**

Talaş kaldırma sırasında meydana gelen dirençleri yenmek için gerekli talaş kaldırma kuvveti;  $F_s$  kesme kuvveti,  $F_r$  radyal kuvveti ve  $F_v$  ilerleme kuvveti olmak üzere üç genel bileşene ayırtmamız yeterli olur. Talaş kaldırma sırasında kesme kuvvetleri gerek takım, gerekse parça üzerinde birtakım şekil değiştirmelere neden olarak takım-parça konumunu değiştirirler ve işleme kalitesini etkilerler. Esasen parça–takım–tezgah zinciri esnek bir sistemdir. Dolayısıyla talaş kaldırma sırasında kesme kuvvetlerinin değişken olmasından dolayı titreşimler meydana gelebilir. Bu titreşimlerin şiddetli olması durumunda kötü bir yüzey kalitesine neden olan tırlama olayı oluşur.



## BÖLÜM 5

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

#### 5.1 PASLANMAZ ÇELİKLERİN İŞLENEBİLİRLİĞİYLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Endrino et al (2006), yaptıkları çalışmada AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin işlenmesinde kesici takım kaplamasının aşınma mekanizması ve takım ömrü üzerindeki etkisi incelenmiştir. Deneyler, AlCN, AlCrNbN, AlTiN ve AlTiN kaplamalara sahip sementit karbür parmak frezeler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kaplamaların kristal tane boyutu ve yüzey yapısı gibi özellikler değiştirilerek daha uzun takım ömrü sağlanmıştır. Bu çalışmada, paslanmaz çelik plakalar farklı kaplamalara (AlCrN, AlCrNbN, ince taneli AlTiN ve nano kristalli AlTiN) sahip sementit karbür parmak frezeler ile işlenmiştir. AlTiN ve AlCrN esaslı kaplamaya sahip kesici takımların yüzeyinde alüminyum oksit kaplama oluştuğu için yüksek oksidasyon direncine sahiptirler. Kesici takım yüzeylerine kaplama sonrası uygulanan işlemin takım aşınmasına etkisi incelenmiştir. Kaplama yüzeyinin yapısı kaplama sonrası uygulanan işlemde önce ve sonra analiz edilmiştir. 150 m kesme uzunluğundan sonra en düşük aşınma AlTiN kaplanmış kesici takımda gerçekleşmiştir.

İşlenmesi zor olan östenitik paslanmaz çeliklerin işlem zorlaştırmasını gerçekleştiren ana neden olarak süneklikleri ve deformasyon sertleşme eğilimleri ile buna ilave olarak ta ısı iletkenliklerinin karbon çeliklere göre çok daha düşük oldukları belirtilmiştir. Düşük ısı iletkenlik, takım talaş temas bölgesinde yüksek ısı çevrimlere neden olur. Bu da kesici takım aşınma hızını önemli derecede artırır. Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliği sert kaplamalara sahip kesici takımlar kullanılarak iyileştirilebilir. Düşük ısı iletkenliğe sahip sert PVD kaplama ve iyileştirilmiş yüzey kalitesi bu amaçla kullanılmalıdır. Bu durum, takım talaş arayüzünde sürtünmeyi azaltır.

Paro et al (2001), “X5 CrMnN 18 18 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Takım Aşınması ve işlenebilirliği” adını verdikleri bir çalışmada yüksek azot miktarına sahip olan paslanmaz çeliklerin çok yüksek mukavemetli olduğu görülmüştür. Normal bir X5 CrMnN 18 paslanmaz

çeliğin kopma gerilmesi 660 MPa iken, azot takviyeli paslanmaz çeliğin kopma gerilmesi yaklaşık 3000 MPa'a kadar çıkmaktadır. Azotun, mevcut yapı içerisindeki dislokasyon hareketine karşı bir engel oluşturduğu tespit edilmiştir. Tane boyutunun sertliği, paslanmaz çeliğe yüksek mukavemet kazandırmıştır. içeriğinde farklı miktarda azot bulunan iki adet X5 CrMnN 18 malzeme üzerinde deney yapılmıştır. Malzemenin birinde %0,91 oranında azot bulunmaktadır. Diğerinde ise %0,57 oranında azot bulunmaktadır. Ortak kesme parametreleri (f:0,24 mm/rev, V:60 m/min ve talaş derinliği a:1,6 mm) uygulanmış ve takım ömrü ile birlikte, yüzey pürüzlülükleri değerleri tespit edilmiş. %0,91 içerikli paslanmaz çelikte takım ömrü 30dk ölçülürken, %0,57 içerikli paslanmaz çelikte takım ömrü 10dk olarak ölçülmüştür. Kesme hızı arttırıldıkça her iki malzemede de takım ömrü azalmıştır.

Korkut vd (2004), "AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenmesi Esnasındaki Optimum Kesme Parametrelerinin Belirlenmesi" adını verdikleri çalışmada, yüksek dayanıklılık, düşük ısıl iletkenlik ve yüksek sünekliğin işlenebilirliği zor kılan unsurlar olarak gösterilmiş. Malzemedan talaş kaldırma esnasında, kesilen talaşın kesici takıma yapıştığı ve takımdan talaş kopardığı belirtilmiş. Numune AISI 304 parça üzerinde kesme deneyleri yapılmış. 0,24 mm/dev ilerleme kullanılarak 120 m/min, 150 m/min, 180 m/min ve 210 m/min kesme hızlarında talaş kaldırılmış. Numune parçaların yüzey sertliği ve talaş oluşumu arasındaki korelasyon belirlenmiş. Belli bir değere kadar kesme hızının artması, takım aşınmasının azalmasına sebep olmuştur. Fakat belli bir noktadan sonra takım aşınmasının arttığı gözlemlenmiştir. Talaş kalınlığının ve talaş kıvrım yarıçaplarının homojenliği ile talaş renginin malzeme rengine çok yakın olması, 180 m/min kesme hızını en ideal kesme hızı olarak belirlenmiştir. Kesme hızının bu değere kadar artması Ra değerlerinin iyileşmesine sebep olmuştur. Yapılan her test denemesinde talaş kıvrım yarıçapı ve talaş kalınlığının kesme hızı ile ilgili olduğu görülmüştür. Düşük kesme hızı küçük talaş kıvrım yarıçapına ve büyük talaş kalınlığına sebep olmuştur. Kesme hızı arttıkça talaş kıvrım yarıçapı da artmıştır. Kalınlık ise yavaş yavaş azalmaya baslar. Kesme hızı düştükçe, yüksek kesme hızlarına göre talaş ile malzeme arasındaki temas fazla olacaktır. Bu talaş ile malzeme arasında sürtünmeye ve ortam ısısının artmasına neden olacaktır.

O'Sullivan et al (2002), yaptıkları bir çalışmada deformasyon sertleşmesini tespit eden metotlar irdelenmiştir. Paslanmaz çeliklerin işlenmesi esnasında maruz kaldığı deformasyon sertleşmesini eş zamanlı olarak belirleyen tekniklerden en uygunu belirlenmeye çalışılmıştır.

SS303 kalite paslanmaz çelik elektronik ve otomotiv endüstrilerinde özel parçaların üretiminde yaygın olarak kullanılır. Bu malzemenin işlenmesinde sıklıkla zorluklarla karşılaşılır ve işlenebilirliği hakkında çok az bilgi mevcuttur. Kötü yüzey kalitesi ve hızlı aşınma karşılaşılan problemlerdendir.

Östenitik paslanmaz çelikler, geçtiğimiz birkaç yılda kullanılan paslanmaz çeliklerin toplamının %65-70'ini oluşturmaktadır. Östenitik kalitede kullanılan paslanmaz çeliklerden en fazla kullanılanları da 300 serisidir. Bu malzemelerin işlenmesinde sıklıkla işlenebilirlik problemleriyle karşılaşılır. Bu problemler işleme esnasında bu malzemelerde gerçekleşen deformasyon sertleşmesine atfedilir.

Paslanmaz çelikler çoğunlukla işlenmesi zor malzemelerdir. Toz metalurjisi metoduyla üretilmiş dubleks paslanmaz çeliklerde takım aşınmasına neden olan çok sayıda sert oksit parçacıklar mevcuttur. Bu çeliklerin yüksek dayanımı ve yüksek deformasyon sertleşme eğilimleri de işlenebilirlik açısından ilave problemlere neden olur.

Selinder et al (1998), yaptıkları bu çalışmada, TiN/TaN ve TiN/NbN lamel ince filmlerle kaplanmış sementit karbür kesici takımlar kullanılarak östenitik paslanmaz çelikler (AISI/SAE 303/304) alın frezeleme işlemine tabi tutulmuştur. Kesici takımları kaplamak için farklı bir PVD yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle kaplanan kesici takımlar geleneksel yöntemlerle kaplanmış kesici takımlara göre mükemmel performans sergilemişlerdir.

Akasawa et al (2003), yaptıkları bu çalışmada, östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğine kolay işleme katkılarının etkilerini incelenmiştir. İş parçası malzemeleri olarak SUS303, SUS303Cu, SUS304 ve SUS316 seçilmiştir. Gerekli metalurjik yöntemlerle bu çeliklerin içerisindeki S, Ca, Cu ve Bi gibi katkıların miktarları değiştirilmiştir. İşleme testleri NC kontrollü bir torna tezgahında K10 kalite sementit karbür kullanılarak yapılmıştır. Deneyler, soğutma sıvısı kullanılarak ve soğutma sıvısı kullanılmadan yapılmıştır. Elektronik parçaların bitirme tornalama işlemleri (finiş) olarak 0,05-0,1 mm/dev ilerleme hızları ve 12,5-100 m/dk aralığında kesme hızları kullanılmıştır. Genel ölçümler ve işlenmiş parça yüzey katmanının mikro sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, deformasyondan kaynaklanan martenzit dönüşümü de ölçülmüştür. Bu çalışmada, işlenebilirlik yüzey özellikle yüzey bütünlüğü açısından değerlendirilmiştir.

Östenitik paslanmaz çelikler tipik olarak işlenmesi zor malzemelerdir. Bu malzemelerin işlenebilirliklerini iyileştirmek için kükürt, kurşun, selenyum ve tellüryum gibi kolay işleme katkıları östenitik paslanmaz çeliklere ilave edilmiştir. Kontrol edilebilir oksit inklüzyonlarının da östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğini iyileştirdiği belirtilmiştir. Son yıllarda, bu çeliklerdeki sağlık için tehdit arz eden Pb, Se ve Te gibi elementlerin miktarlarının azaltılması için önlemler alınmaktadır.

Çiftçi (2004), yaptığı bu çalışmada AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çelik malzeme üzerinde tornalama yöntemiyle işlenebilirlik deneyleri yapılmıştır. Kesici takım olarak, çok katlı kaplanmış sementit karbür bir takım kullanılmıştır. Deneyler, soğutma sıvısı kullanılmadan dört farklı kesme hızında (120, 150, 180 ve 210 m/dk) ilerleme hızı ve talaş derinliği sabit tutularak yapılmıştır. Deneyler esnasında kesme kuvvetleri ve işlenmiş yüzeylerin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ( $R_a$ ) ölçülmüştür. Aşınmış kesici takımlar tarama elektron mikroskopunda (SEM) incelenerek aşınma biçimleri ve mekanizmaları belirlenmeye çalışılmıştır. Artan kesme hızı ile belirli bir değere kadar yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti azalmıştır ancak bu belirli değerden sonra artış görülmüştür. SEM incelemelerinden aşınmanın kesici takım üzerinde genellikle üç bölgede küçük kırılmalar şeklinde (chipping) olduğu görülmüştür. Bu bölgeler; a) kesici takımın işlenmemiş iş parçası yüzeyi ile temasta olduğu bölge b) kesici takımın yeni oluşan iş parçası yüzeyi ile teması kestiği bölge ve c) burun bölgesidir. Gerçekleşen aşınmaların kesici takım üzerinde oluşan yığıntı talaş (BUE) ile ilişkili olduğu tahmin edilmiştir ve 180 m/dk'ya kadar artan kesme hızıyla azalmıştır.

Sementit karbür kesici takımlar kullanılarak AISI 304 östenitik paslanmaz çelik üzerinde tornalama deneyleri yapılan bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

- a. TiCN/TiC/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplanmış sementit karbür kesici takımında aşınmalar esas olarak üç bölgede gerçekleşmiştir. Kesici takımın işlenmemiş iş parçası yüzeyi ile temasta olduğu bölge, kesici takımın yeni oluşan iş parçası yüzeyi ile teması kestiği bölge ve burun bölgesi esas olarak aşınmanın gerçekleştiği bölgelerdir.
- b. Gerçekleşen aşınmalar küçük kırılmalar (chipping) şeklindedir. Bu kırılmalar, kesici takımında BUE oluşumu ve oluşan BUE'nin de işleme esnasında kopmasıyla ilişkilendirilmiştir. Kesme hızının artmasıyla belirli bir kesme hızı değerine kadar gerçekleşen aşınmalar azalmıştır.



- c. Artan kesme hızıyla kesici takım aşınmasının azalması, yüksek kesme hızlarında artan sıcaklık nedeniyle daha az BUE oluşma eğilimi ve kesici takıma daha az adhesiv kuvvet iletilmesi ile açıklanmıştır.
- d. İşlenmiş yüzeylerin pürüzlülük değerlerinin ( $R_a$ ) ve kesme kuvvetlerinin kesme hızı ile değişimi de aşınmaya benzer bir davranış sergilemiştir. Artan kesme hızı ile her iki değer de belirli bir kesme hızına kadar azalmış ancak daha sonra kesme hızının artması ile artmıştır.

## 5.2 Literatür Araştırmalarının Değerlendirilmesi

Yapılan literatür araştırmalarında östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğinin zor olması araştırmacıları farklı denemelere farklı parametreler kullanılmış ve östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesi sırasında karşılaşılan problemler ve çözüm önerileri verilmiştir.

- a. İşlenmesi zor olan östenitik paslanmaz çeliklerin işlem zorlaştırmasını gerçekleştiren ana neden olarak süneklikleri ve deformasyon sertleşme eğilimleri ile buna ilave olarak ta ısı iletkenliklerinin karbon çeliklere göre çok daha düşük olduklarıdır. Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliği sert kaplamalara sahip kesici takımlar kullanılarak iyileştirilebilir. Düşük ısı iletkenliğe sahip sert PVD kaplama ve iyileştirilmiş yüzey kalitesi bu amaçla kullanılmalıdır. Bu durum, takım talaş arayüzeyinde sürtünmeyi azaltır.
- b. Kesme hızı düştükçe, yüksek kesme hızlarına göre talaş ile malzeme arasındaki temas fazla olacaktır. Bu talaş ile malzeme arasında sürtünmeye ve ortam ısısının artmasına neden olacaktır
- c. Toz metalurjisi metoduyla üretilmiş paslanmaz çelikteki sert oksit parçacıkları bu malzemenin işlenebilirliğini kötüleştirmiştir.
- d. Kesme hızı artmasıyla malzemelerin takım ömrünün azalmasına yol açtığı görülmüştür.
- e. Artan kesme hızıyla kesici takım aşınmasının azalması, yüksek kesme hızlarında artan sıcaklık nedeniyle daha az BUE oluşma eğilimi ve kesici takıma daha az adhesiv kuvvet iletilmesi ile açıklanmıştır.
- f. Östenitik paslanmaz çeliğin işlenebilirliğini zorlaştıran unsurlar; yüksek dayanıklılığı, düşük ısı iletkenliği ve yüksek sünekliği olarak belirtilmiştir.

g. Malzemeden talaş kaldırma esnasında, kesilen talaşın kesici takıma yapıştığı ve takımdan talaş kopardığı belirtilmiştir.

## BÖLÜM 6

### MATERYAL VE METOT

#### 6.1 İŞ PARÇASI

Bu çalışmada iş parçası malzemesi olarak ticari kalite AISI 304 östenitik paslanmaz çelik seçilmiştir. Deney malzemesi olarak kullanılan AISI 304 malzemeden alınan küçük bir numune kimyasal bileşim için analize tabi tutulmuştur. Çizelge 6.1’de bu malzemenin içerisindeki elementlerin ağırlıkça oranları gösterilmektedir.

Çizelge 6.1. AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi

Element	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Ni	Cu	W	Co
%(Ağırlık)	0,044	0,403	1,784	0,033	0,020	18,940	0,185	0,074	8,045	0,288	0,029	0,103

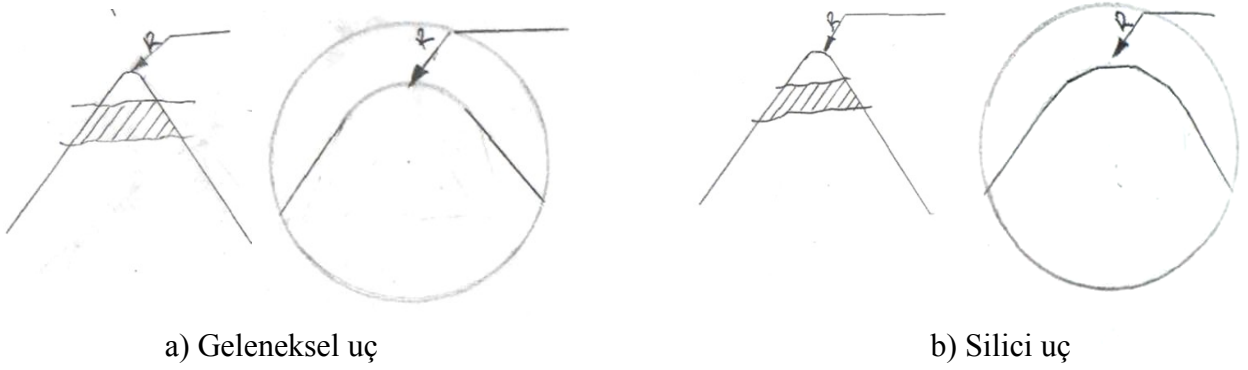
İşleme deneyleri için 50 mm çapında silindirik olarak temin edilen AISI 304 östenitik paslanmaz çelik malzemeden 200 mm boylarında parçalar kesilmiştir. Bu parçaların alın yüzeyleri torna tezgahında işlenmiş ve bu yüzeylerden birine punta deliği açılmıştır.

#### 6.2 KESİCİ TAKIM VE TAKIM TUTUCU

Ticari kalite AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesici takım uç yarıçapı, ilerleme hızı ve talaş derinliğinin işlenmiş iş parçası yüzey pürüzlülüğüne etkisini belirlemek amacıyla 4 farklı uç geometrisine sahip kaplamalı sementit karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Kullanılan kesici takımlar, ticari kalite CVD yöntemiyle çoklu kaplanmış kesici takımlar olup Kennametal firması tarafından CNMG 120404, CNMG 120404W, CNMG 120408 ve CNMG 120412 biçimlerinde imal edilmiştir. Bu kesici takımlar Kennametal firması tarafından östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesi için tavsiye edilmiş

olup KC 9225 şeklinde üretici firma tarafından kodlanmıştır. Kesici takımlar PCLNR-2525-M12 kodlu bir takım tutucuya mekanik olarak bağlanmıştır.

Kullanılan kesici takımlardan üç tanesinin uç yarıçapı geleneksel olarak tornalama işlemlerinde kullanılan silindirik uç yarıçapı biçimindedir. Bir tanesi ise tornalama işlemlerinde son zamanlarda yüksek ilerleme hızlarında daha düşük yüzey pürüzlülük değeri elde etmek amacıyla kullanılan silici (wiper) kesici uç geometrisine sahiptir. Silici kesici uç geometrisi geleneksel uç yarıçapından farklı olarak düz kısımlar sahiptir. Geleneksel ve silici uç geometrisi Şekil 6.1’de şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 6.1. Geleneksel ve silici kesici uç geometrilerinin şematik olarak gösterilmesi

### 6.3 DENEYLERİN YAPILIŞI

Silindirik AISI 304 östenitik paslanmaz çelik iş parçası malzemeleri Taksan TTC-630 CNC torna tezgahına ayna-punta arasında bağlanmıştır. Taksan TTC-630 CNC torna tezgahının iş mili değişken kademesiz hıza sahip olup 4000 dev/dak’ya kadar çıkabilmektedir ve gücü de 10 kW’tır. Deneyler öncesinde iş parçası yüzeyinden yeni bir kesici takımla 0,5 mm derinliğinde talaş kaldırılarak iş parçasındaki muhtemel salgı giderilmiştir. Deneyler, soğutma sıvısı kullanılmadan iki farklı kesme hızı (150 ve 180 m/dak), üç farklı ilerleme hızı (0,05, 0,10 ve 0,15 mm/dev), üç farklı talaş derinliği (0,5, 1 ve 1,5 mm) ve dört farklı uç yarıçapına (0,4, 0,4 silici, 0,8 ve 1,2 mm) sahip kesici takımlar kullanılarak yapılmıştır. Toplam olarak

72 işleme deneyi yapılmıştır. Her bir deneyde iş parçası çapı üzerinde 25 mm uzunluk tornalanmıştır.

İşlenmiş yüzeyler üzerinde yüzey pürüzlülüğü ölçümleri için Marsurf PS1 yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır. Ölçümler için cut-off uzunluğu 0,8 mm ve örnekleme uzunluğu da 5 mm olarak alınmıştır. Yüzey pürüzlülüğü olarak ortalama yüzey pürüzlülük değeri (Ra) dikkate alınmıştır.”



## BÖLÜM 7

### DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

#### 7.1 KESİCİ TAKIM UÇ YARIÇAPININ YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ

Tornalama yöntemiyle işlenmiş parçalarda yüzey pürüzlülük değerini kesici takım uç yarıçapı önemli derecede etkiler. Kesici takım uç yarıçapının büyümesi ile çoğunlukla pürüzlülük değeri azalır ve küçülmesiyle de artar. Yüzey pürüzlülük değerinin ilerleme hızı ve kesici takım uç yarıçapına bağlı olduğu ve ilerleme hızının azalmasıyla ve uç yarıçapının artmasıyla pürüzlülük değerinin azalacağı görülebilir. Ancak, uygulamalarda yüzey pürüzlülük değerinin bu eşitlikle hesaplanan değerlerden farklı olduğu görülür. Bu farklılık, tornalama işlemi esnasında oluşan titreşim, kesici uçta yığıntı talaş oluşumu ve kırılması ve takım aşınması gibi faktörlerden kaynaklanır.

Bu çalışmada dört farklı uç yarıçapına sahip sementit karbür kesici takımlar kullanılarak AISI 304 östenitik paslanmaz çelikler tornalama yöntemiyle işlenmiştir. AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin belirlenen kesme parametrelerinde farklı uç yarıçaplarına sahip kesici takımlarla işlenmesi sonucu elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) Şekil 7.1-Şekil 7.6'da verilmektedir. Yapılan her bir tornalama işlemiyle elde edilen yüzey üzerinde üç yüzey pürüzlülük ölçümü yapılmıştır. Çizelge 7.1'de verilen yüzey pürüzlülük değerleri ortalama değerlerdir.

Çizelge 7.1 AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin kaplamalı sementit karbür kesici takımlarla tornalanması sonucu elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra)

Kesme Hızı	Talaş Derinliği	İlerleme	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra Ort.)			
			0,4N	0,4W	0,8N	1,2N
150	0,5	0,05	1,103	3,810	0,936	2,639
		0,1	0,892	0,719	0,899	1,011
		0,15	1,156	2,991	1,066	0,722
	1	0,05	0,668	5,554	1,123	2,514
		0,1	0,785	4,276	5,713	1,060
		0,15	1,113	0,917	0,729	0,662
	1,5	0,05	0,922	3,463	2,497	2,292
		0,1	0,709	0,479	1,000	2,851
		0,15	1,115	3,189	0,940	0,687
180	0,5	0,05	1,314	4,297	0,366	1,280
		0,1	0,776	4,903	0,451	2,677
		0,15	1,038	0,557	0,833	1,012
	1	0,05	1,142	1,618	1,744	4,643
		0,1	1,426	2,021	2,283	3,284
		0,15	1,315	1,265	0,871	0,522
	1,5	0,05	1,426	2,021	2,283	3,284
		0,1	0,554	0,362	0,852	1,332
		0,15	1,173	1,720	0,688	0,917

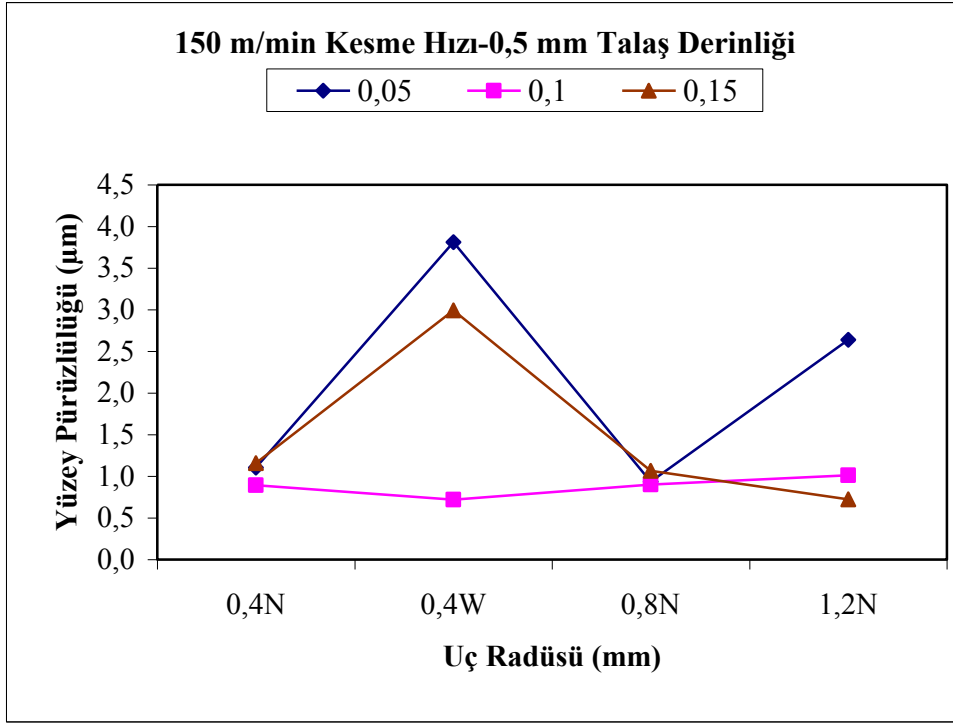
Çizelge 7.1’de verilen yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) çok geniş bir aralıkta değişim göstermektedir. En düşük Ra 0,362  $\mu\text{m}$  iken en yüksek Ra değeri de 5,713  $\mu\text{m}$ ’dir. Bu farklılıklar AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesi esnasında kesici takımın kırılmasına atfedilebilir. Talaşlı imalat işlemi esnasında birinci deformasyon bölgesinden ayrılan talaş kesici takım-talaş yüzeyinden geçerek kesme bölgesinden atılır. Talaşın bu bölgeden geçerken kesici takımla etkileşimi ve davranışı talaşlı imalat performansını önemli ölçüde etkiler.Çoğu analizlerde bu bölgedeki kesici takım ve talaş arasındaki klasik sürtünme olduğu kabul edilmiştir fakat bu yaklaşımın genellikle uygun olmadığı görülmüştür. Kesici takım, talaş ve ani durdurma ile elde edilen numuneler üzerinde yapılan metalurjik incelemelerde, bu bölgede çoğunlukla klasik sürtünmenin olmadığı ve yapışmanın olduğu sonucuna varılmıştır (Trent, 1989). Kesici uçta oluşan yığıntı talaş iş parçası malzemesinden çok sert olduğu için aktif olarak kesme işlemi yapar. Düzensiz bir yapıda olması nedeniyle de yüzey pürüzlülük değerini artırır. İlave olarak, kırılması durumunda kesici takımdan da bir parça koparır. Bu



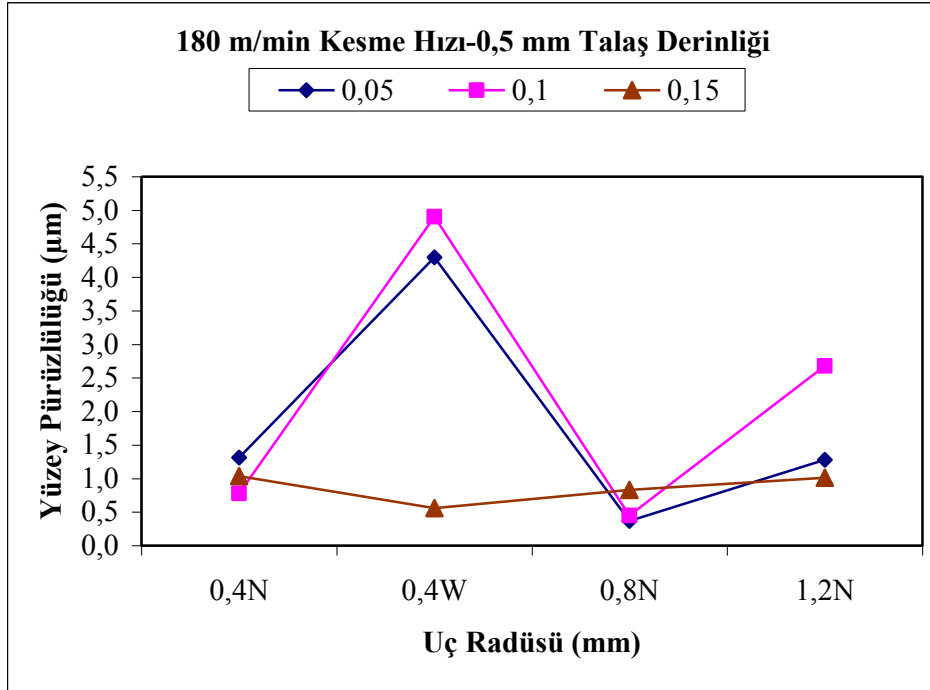
kopma sonucu düzenli bir kesici uçtan ziyade düzensiz bir kesici uç oluşacağı için yüzey pürüzlülük değeri artar. Özellikle, bu kırılma kesici takımın yeni işlenmiş yüzeyi ile temasta olan ikinci kesme kenarında gerçekleşirse pürüzlülük değerinde ciddi artışlar olabilir. Çiftçi (2006), tarafından yapılan bir çalışmada AISI 304 ve AISI 316 paslanmaz çelikler kaplamalı sementit karbürlerle tormalanarak kesici takımlarda gerçekleşen aşınmalar ayrıntılı bir şekilde SEM ile incelenmiştir. SEM fotoğraflarından kesici takımında yan yüzey ve çentik aşınmalarına ilave olarak yeni işlenmiş iş parçası ile temas eden ikinci kesme kenarında da adhesiv aşınma mekanizmasının neden olduğu aşınmalar görülmüştür.

Çizelge 7.1'deki verilere bakıldığında 0,4 mm uç yarıçapına sahip kesici takımlarla yapılan deneylerden elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin oldukça düzenli dağılım sergilediği görülmektedir. Elde edilen değerler yaklaşık olarak 0,7–1,4  $\mu\text{m}$  aralığında değişmektedir. AISI 304 paslanmaz çelik gibi nispeten sünek bir malzeme için oldukça iyi bir yüzey pürüzlülük değeri olarak kabul edilebilir. 0,4 mm silici (wiper) kesici uç geometrisine sahip kesici takımlarla yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar oldukça şaşırtıcıdır. Silici kesici uç geometrisine sahip kesici takımlar geleneksel olarak frezeleme işlemlerinde kullanılır. Son zamanlarda tormalama işlemleriyle elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerini düşürmek için tormalama işlemlerinde de kullanılmaya başlanmıştır (Boothroyd, 2006). Kesici takım üreticisi firmalar tarafından da düşük yüzey pürüzlülük değerleri için tavsiye edilmektedir (Kennametal, 2006).

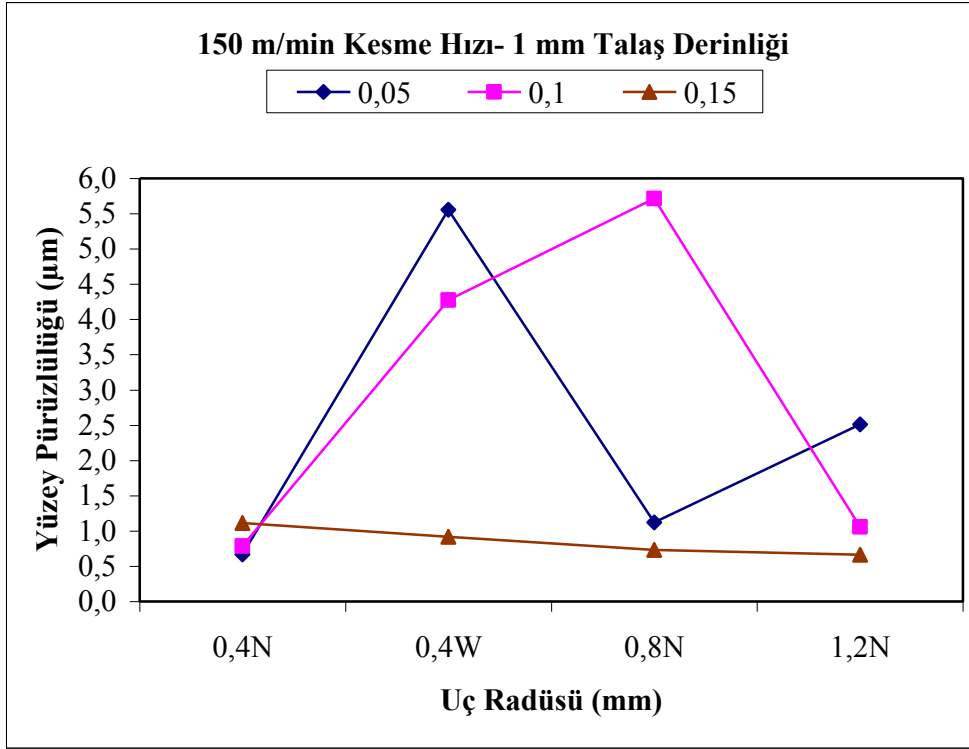
0,05 ve 0,1 mm/dev ilerleme hızlarında 0,8 ve 1,2 mm uç yarıçapına sahip kesici takımlarla yapılan deneylerden elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri 0,4 mm uç yarıçapına sahip kesici takımlarla elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinden genel olarak daha yüksektir. Ancak, kullanılan kesici takımlar arasında genel olarak en yüksek yüzey pürüzlülük değerleri 0,4 mm silici kesici uç geometrisine sahip kesici takımlarla yapılan deneylerden elde edilmiştir. Çizelge 7.1'de çok fazla veri olduğu için analiz edilmesi zorlaşmaktadır. Bu zorluğu bertaraf etmek amacıyla her bir kesme hızı ve her bir talaş derinliğinde yapılan deneylere ait veriler grafiklerle Şekil 7.1 – Şekil 7.6'da gösterilmiştir.



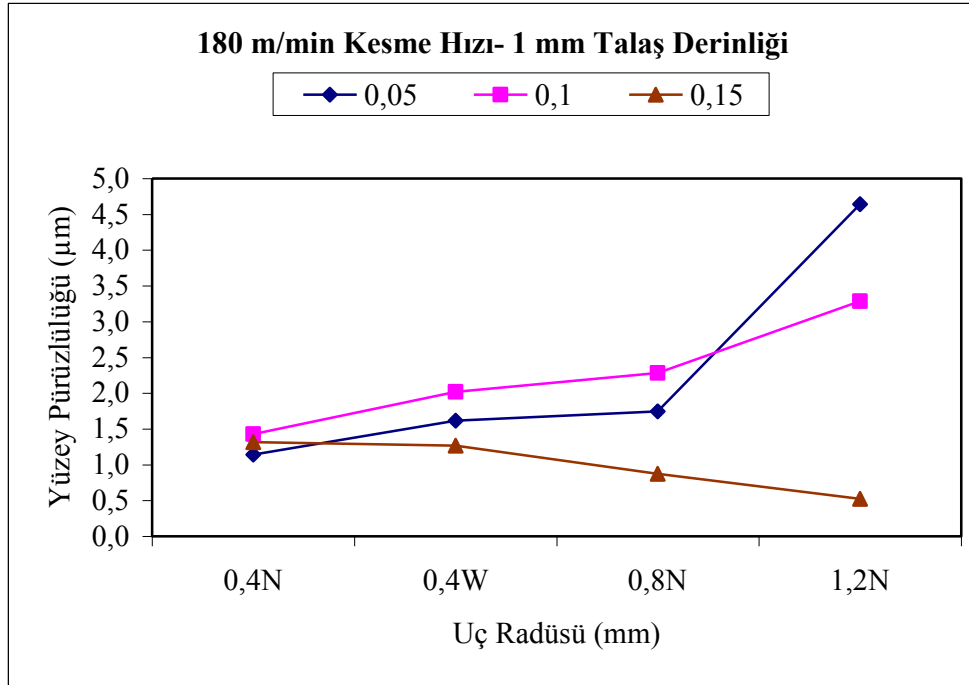
Şekil 7.1 150 m/dk kesme hızında ve 0,5 mm talaş derinliğinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra)



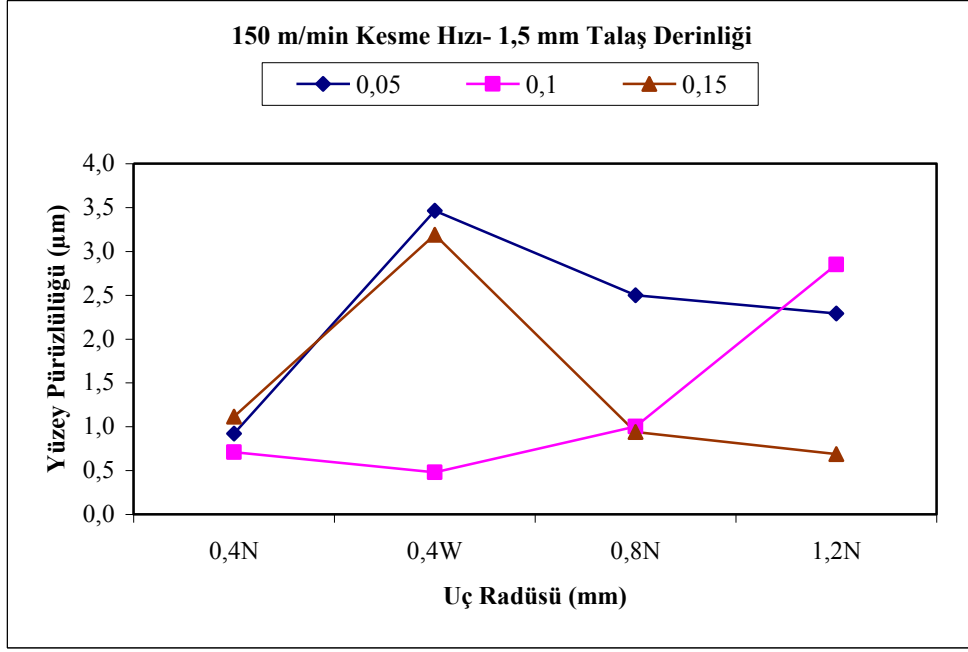
Şekil 7.2 180 m/dk kesme hızında ve 0,5 mm talaş derinliğinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra)



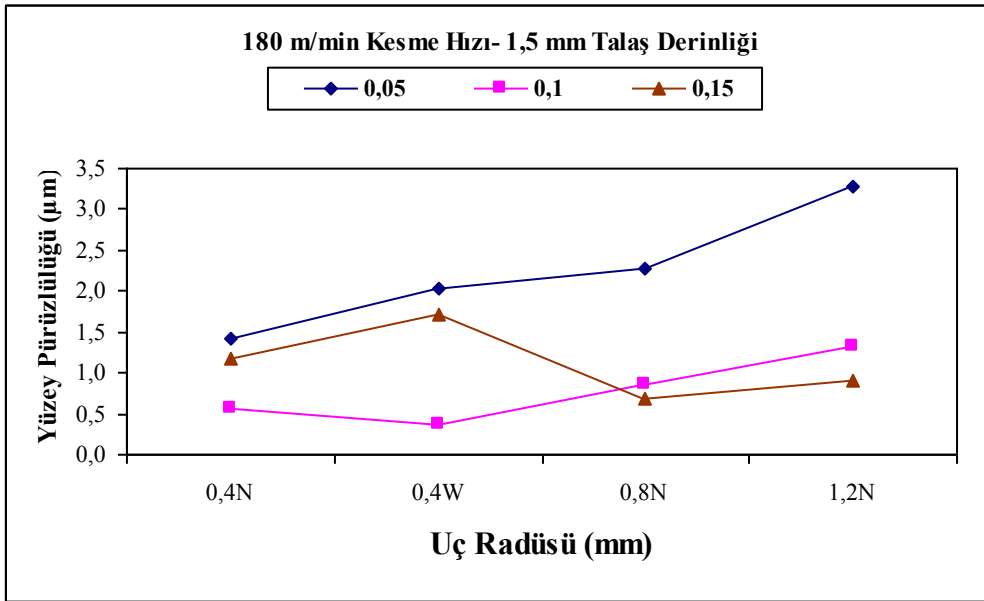
Şekil 7.3 150 m/dk kesme hızında ve 1 mm talaş derinliğinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra)



Şekil 7.4 180 m/dk kesme hızında ve 1 mm talaş derinliğinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra)



Şekil 7.5 150 m/dk kesme hızında ve 1,5 mm talaş derinliğinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra)



Şekil 7.6 180 m/dk kesme hızında ve 1,5 mm talaş derinliğinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra)

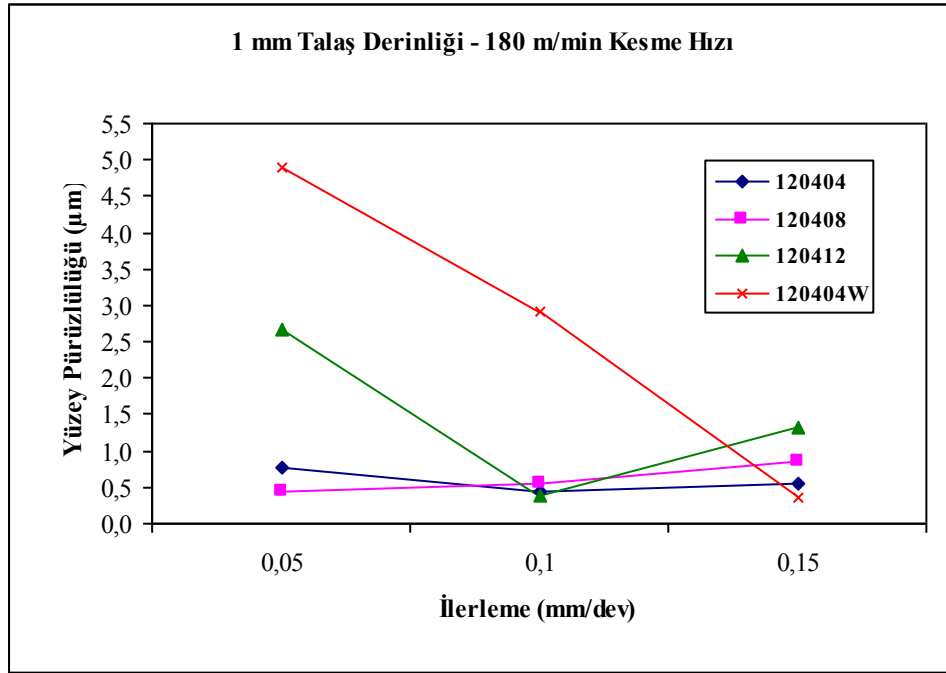
Şekil 7.1 – Şekil 7.6'dan genel olarak en yüksek yüzey pürüzlülük değerlerinin silici kesici uç geometrisine sahip kesici takımlarla elde edildiği görülmektedir. Bu değerleri sırasıyla uç yarıçapı 1,2 ve 0,8 mm olan kesici takımlarla elde edilen değerler izlemektedir. Silici kesici uç geometrisinin düz olan kısmı yarıçapı sonsuz bir daire olarak düşünülürse, kesici takım uç yarıçapının artması ile yüzey pürüzlülük değerinin arttığı sonucu çıkarılabilir. Bu durum, tornalama işlemlerinde elde edilen iş parçası yüzey pürüzlülük değeri ile kesici takım uç yarıçapı arasındaki genel ilişkiye aykırıdır. Tornalama işlemlerinde elde edilen yüzey pürüzlülük değeri teorik olarak Eşitlik 2.1 ile ifade edilir. Bu eşitlik, kesici takım uç yarıçapının yüzey pürüzlülük değeri ile ters orantılı olduğunu göstermektedir. Tornalama işlemi ile ilgili uygulamalarda da kesici uç yarıçapı arttıkça yüzey pürüzlülüğü genel olarak azalır (Sandvik Coromant, 1994).

AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerin tornalanmasında kesici takım uç yarıçapının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin artması yeni işlenmiş yüzeye temas eden kesici takım ikinci kesme kenarındaki yığıntı talaş oluşumu ve bu yığıntı talaşın tornalama işlemi esnasında kırılmasıyla açıklanabilir. Çiftçi (2006), AISI 304 ve AISI 316 östenitik paslanmaz çelikleri tornalama yöntemiyle kaplanmış 0,8 mm uç yarıçapına sahip sementit karbür kesici takımlar kullanarak işlediği çalışmada kesici takım ikinci kesme kenarında yüzey pürüzlülüğünü etkilemesi muhtemel kırılmalar tespit etmiştir. Benzer kesici takım aşınmaları Çiftçi (2006), tarafından yapılan çalışmada kesici uçtaki kırılmalarda adhesiv aşınma mekanizmasının etkin olduğu açıkça görülmektedir. Bu kırılmalar, işleme esnasında kesici takım kesici kenarlarında oluşan yığıntı talaşın kırılmasına ve bu kırılma sonucu da kesici uçta kırılmaya neden olmasına atfedilmiştir.

Kesici takım uç yarıçapının artmasıyla ikinci kesme kenarında yeni işlenmiş iş parçası yüzeyi ile daha uzun bir temas kenarı oluşur. Bu durum oluşan yığıntı talaşın daha uzun bir kenar boyunca yeni işlenmiş iş parçası yüzeyi ile temasta olmasına neden olur. Bu durum yüzey pürüzlülük değerini artırır. Ayrıca, yığıntı talaşın daha uzun bir kenar boyunca oluşması işlem esnasında daha yüksek kuvvetlere maruz kalmasına neden olur. Bu yüksek kuvvetler ise yığıntı talaşın daha sık kırılmasına neden olur. Daha sık kırılan yığıntı talaş kesici takımın da daha fazla kırılmasına neden olur. Kesici takım uç yarıçapının azalmasıyla bu kırılma azalacağı için pürüzlülük değeri daha düşük bir yüzey elde edilir.

## 7.2 İLERLEME HIZININ YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİNİ

Çizelge 7.1'den uç yarıçapı 0,4 mm olan kesici takımlarla yapılan deneylerle elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin genellikle düşük olduğu görülürken 0,4 mm silici kesici uç geometrisine sahip olan kesici takımlarla yapılan deneylerle elde edilenlerin bütün ilerleme hızları için genellikle oldukça yüksek olduğu görülmektedir. 0,8 ve 1,2 mm kesici uç yarıçapına sahip takımlarla yapılan deneylerle elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri ise 0,05 ve 0,1 mm/dev ilerleme hızlarında oldukça yüksektir. Ancak, 0,15 mm/dev ilerleme hızında 0,4 mm uç yarıçapına sahip kesici takımla elde edilenlerden bile daha düşük yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Şekil 7.7'de 180 m/dk kesme hızı ve 1 mm talaş derinliğinde farklı kesici uç yarıçaplarına sahip kesici takımlarla yapılan deneylerden elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin ilerleme hızlarına göre değişimleri gösterilmektedir. Diğer talaş derinlikleri ve kesme hızında yapılan deneylerden de benzer sonuçlar edilmiştir.



Şekil 7.7 İlerleme Hızına Göre Ra Değişimleri

Şekil 7.7'den silici kesici uç geometrisine sahip kesici takımla 0,15 mm/dev ilerleme hızında yapılan deneyden elde edilen yüzey pürüzlülük değerinin düşük olduğu görülmektedir.

Ancak, bu kesici takım kullanılarak diğler talaş derinliklerinde yapılan deneylerden oldukça yüksek yüzey pürüzlülük değerlerinin elde edilmiştir.

Bölüm 7.1’de açıklandığı gibi bu çalışmada elde edilen yüksek yüzey pürüzlülük değerlerinin kesici takımda oluşan yığıntı talaştan ve kesici takım ucundaki muhtemel küçük kırılmalar şeklindeki hasarlardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Trent ve Wright (2000), östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesici takım ucundaki hasarı azaltmak için yüksek ilerleme hızı önermiştir. Ancak, bu önerinin 0,8 ve 1,2 mm uç yarıçapına sahip kesici takımlar için geçerli olduğu ve 0,4 mm uç yarıçapına sahip olan kesici takım için ise geçerli olmadığı bu çalışmadan elde edilen sonuçlar doğrultusunda söylenebilir.

Bütün talaşlı imalat işlemlerinde işleme zamanını azaltmak ve dolayısıyla verimi artırmak için ilerleme hızının mümkün olduğu kadar yüksek olması istenir. Genellikle ilerlemenin artmasıyla yüzey pürüzlülük değeri artar. Östenitik paslanmaz çelikler ise bu genel kuralın dışında kaldığı için yüksek ilerleme hızları yüzey pürüzlülük değerlerini azaltmaktadır. Bu malzemelerin işlenmesinde, işlenen iş parçası, takım tezgahı ve kullanılan kesici takım ve takım tutucu tarafından bir sınırlama olmadığı sürece nispeten büyük uç yarıçapına sahip kesici takımlar yüksek ilerleme hızlarında kullanılarak iyi bir yüzey kalitesi elde edilebilir. Bu şekilde bir işleme iyi bir yüzey kalitesine ilave olarak düşük işleme maliyeti sağlanır ve kesici takım yüksek ilerleme sonucunda daha uzun süreli kesme işlemi yapabilir.

Yüksek ilerleme hızları ilerleme kuvvetlerini artırırken büyük kesici takım uç yarıçapları ise kesici takıma ve iş parçasına etki eden pasif (radyal) kuvvetleri artırır. İş parçası çap boy oranının nispeten düşük olduğu durumlarda pasif kuvvetin yüksek olması iş parçasının eğilmesine neden olur. Bu eğilme sonucu olarak ta istenilen boyutların dışına çıkmış olur. Benzer şekilde, delik içi işleme operasyonlarında pasif kuvvetin yüksek olması takım tutucunun eğilmesine neden olur. Bu tür problemleri bertaraf etmek için uç yarıçapı düşük olan kesici takımlar kullanılmalıdır. Uç yarıçapı düşük olan kesici takımlarda düşük ilerleme hızlarında bile düşük yüzey pürüzlülük değerleri elde edilebilmektedir. Ayrıca, işlenecek iş parçası geometrisi her zaman büyük uç yarıçapına sahip kesici takımlarla işlemeye müsaade etmeyebilir.

### 7.3 TALAŞ DERİNLİĞİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİNİ

Talaş derinliği tornalama işlemlerinde üç önemli işlem parametresinden bir tanesidir. Talaş derinliği yüksek tutularak talaşlı imalat işlemlerinin verimliliği artırılır. İlerleme hızında olduğu gibi diğer faktörler müsaade ettiği sürece talaş derinliğinin yüksek olması tercih edilir. Eşitlik 2.1’de görüldüğü gibi talaş derinliğinin teorik olarak yüzey pürüzlülüğü üzerinde bir etkisi yoktur. Bununla birlikte, talaş derinliğinin artması ile kesme kuvvetleri ve kesme kuvvetleri ile ilişkili olan titreşim artacağı için yüzey pürüzlülük değerinin talaş derinliğinden etkilenmesi muhtemeldir. Kalpakjian (1991), talaşlı imalat işlemlerinde yüzey pürüzlülüğünü artıran yığıntı talaş oluşumunu azaltmak için talaş derinliğini düşürmeyi önerir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlardan talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde belirgin bir etkisi olmadığı Çizelge 7.1’den görülmektedir. Bu nedenle, yapılan işleme göre talaş derinliği seçilmelidir. İşleme zamanını azaltmak ve dolayısıyla talaşlı imalat işleminin maliyetini düşürmek için diğer faktörlerin müsaade ettiği durumlarda yüksek talaş derinliği seçilmelidir. Yüksek talaş derinliğinin neden olacağı yüksek kesme kuvvetlerinden iş parçasının, kesici takımın ve takım tutucunun olumsuz olarak etkilenebileceği durumlarda da düşük talaş derinliği tercih edilmelidir.



## BÖLÜM 8

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

AISI 304 östenitik paslanmaz çelik malzeme üzerinde kaplamalı sementit karbür kesici takımlar kullanılarak tornalama yöntemiyle işleme deneyleri yapılmıştır. Kesici takım uç yarıçapı, ilerleme hızı ve talaş derinliğinin iş parçası yüzey pürüzlülüğüne etkileri incelenmiştir. Yapılan bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır:

1. Kesici takım uç yarıçapı ve ilerleme hızının iş parçası yüzey pürüzlülük değerini önemli derecede etkilediği görülmüştür. Talaş derinliğinin ise yüzey pürüzlülük değeri üzerinde belirgin bir etkisi olmadığı görülmemiştir.
2. 0,4 mm uç yarıçapına sahip kesici takımla yapılan bütün deneylerden genellikle en düşük yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. 0,4 mm silici kesici uç geometrisine sahip kesici takımla yapılan deneylerden ise genellikle en yüksek yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. 0,8 ve 1,2 mm uç yarıçaplarına sahip olan kesici takımlarla 0,05 ve 0,1 mm/dev ilerleme hızlarında oldukça yüksek yüzey pürüzlülük değerleri elde edilirken 0,15 mm/dev ilerleme hızında en düşük yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir.
3. Kesici takım uç yarıçapının artmasıyla genel olarak yüzey pürüzlülük değerlerinin beklenmedik bir şekilde artışı, artan uç yarıçapı ile kesici takım ikinci kesme kenarındaki muhtemel kesici uç kırılmalarının artışına atfedilmiştir.
4. Silici kesici uç geometrisi yarıçapı sonsuz olan bir daire olarak düşünülürse, bu kesici uç geometrisine sahip kesici takımın çoğunlukla en yüksek yüzey pürüzlülük değerlerine neden olmasının sebebi anlaşılır.
5. AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerin tornalanmasında düşük yüzey pürüzlülük değerleri elde etmek için kesici takım uç yarıçapı büyük takımlar yüksek ilerleme hızlarında kullanılmalıdır. Büyük uç yarıçapının ve yüksek ilerlemenin neden olacağı yüksek kesme kuvvetlerinin kesici takımda ve iş parçasında eğilmelere neden olduğu durumlarda ise uç yarıçapı düşük olan kesici takımlar kullanılmalıdır.

Daha sonra yapılacak olan çalışmalar için öneriler aşağıda sıralanmıştır:

1. Uç yarıçapları 0,8 ve 1,2 mm olan kesici takımlar ve silici uç geometrisine sahip olan kesici takımlarla daha yüksek ilerleme hızlarında deneyler yapılabilir.
2. Kesici takımında oluşan etkin aşınma mekanizmaları tarama elektron mikroskopunda (SEM) incelenebilir.
3. Hızlı durdurma (quick-stop) aparatı kullanılarak kesici uçta oluşan yığıntı talaş (BUE) ve bunun yüzey pürüzlülük değerine etkisi incelenebilir.
4. Farklı ilerleme hızlarında ve talaş derinliklerinde kesici takım ömrünü belirlemek için deneyler yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- Bayrak M** (2002) Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi ve Uzman Sistemle Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara, s. 1-35.
- Çakır M C** (1999) *Modern Talaşlı İmalatın Esasları*, Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayın No: 140, Ceylan Matbaacılık, Bursa, s. 278.
- Çiftçi, i., Kasap, M., Şeker, U.,** (1999) Öatenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirlik parametrelerinin belirlenmesi üzerine yapılmış deneysel çalışmalar, Z.K.Ü Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Teknoloji Dergisi, Sayı 3-4, 130-141.
- Çiftçi İ** (2005), “Kesici takımlar ve kesme teorisi ders notları”, Z:K:Ü Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Ders Notları, Karabük, 3-15.
- Çiftçi İ** (2006), Machining of austenetic stanless steel using CVD multi-layer coated cemented carbide tools, *Tribology international* 39, 565-569.
- Çiftçi İ** (2007) Kesici Takımlar ve Kesme Teorisi, Ders Notları, Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Karabük, 30 s.
- Çoğun C, Özses B** (2002) “Bilgisayar sayısal denetimli takım tazgahlarında değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, Gazi Üniv.Müh.Mim.Fak. Der. Cilt 17, No1, 59 – 75.
- DeGarmo E P, Black J T and Kohser R A** (1997), *Materials and Processes in Manufacturing*, Prentice-Hall Inc., New Jersey, s. 214-652.
- E. M. Trent, P. K. Wright**, Metal Cutting, Fourth Edition, Butterworth-Heinemann, 2000.
- Gadelmavla E S and Koura M M** (2002) Roughness Parameter, *Journal Of Material Processing Technology*, 123: 133-145.
- G. Boothroyd, W. A. Knight**, Fundamentals of machining and machine tools, Third Edition, Taylor&Francis, 2006.
- Griffiths B J** (2001) Manufacturing surface technology, in: Surface Integrity and Functional Performance, Penton Press, London.
- Groover M P** (1996) “Fundamentals of modern manufacturing- Materials, processes and systems”, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 220-639.
- Güventürk F.,** (1990) “Çelik El Kitabı”,*Güven Çelik San. ve Tic. Ltd. Sti. Yayınları*,izmir, 35-41.

- Kalpajian S** (1991), *Manufacturing process for engineering materials*, Addison-Wesley, New York, s. 120-121
- Kaluç E., Tülbentçi, K.**, (1995) “Paslanmaz Çelikler ve Kaynaklanabilirliği”, *Kocaeli Üniversitesi Kaynak Teknolojisi Araştırma, Eğitim ve Uygulama Merkezi*, Kocaeli, 7-178.
- Kandemir K., Özdemir A.**, (1999) “Seramik Kesici Uçlarla Tornalamada Taşlama Kalitesinde Yüzey Elde Etme Şartları”, **Teknoloji**, S 125.
- Kennametal** tornalama takım katalogu, 2006.
- Kocagöbek M Ali** (2001) “Frezelemede Kesme Parametrelerinin Yüzey Kalitesi ve Mikro Yapıya Etkilerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, G.Ü.
- Kopaci J and Bahor M** (1999) Interaction Of The Technological History Of A Workpiece Material And The Machining Parameters On The Desired Quality Of The Surface Roughness Of A Product, *Journal of Materials Processing Technology*, 92: 381-387.
- Korkut, İ., Kasap, M., Çiftçi, İ., ve Seker.,U.**, (2004) “Determination of optimum cutting parameters during machining of AISI 304 austenitic stainless Steel”, *Materials and Design*, 303-305.
- Korucu S** (1996) “Hidrolik Kopya Aparatı Yardımı İle Elde Edilen Parçalarda Yüzey Pürüzlülüğünün Deneysel İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, G.Ü.
- Kurt,U.**, (1988) “Paslanmaz Çelik Kaynak Özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 2-33.
- Makine Mühendisi Yayınları.**, Cilt 1 80-109: 200
- Onwubolu, G. C** (2005) A Note on “Surface Roughness Prediction Model in Machining of Carbon Steel by PVD Coated Cutting Tools” *American Journal of Applied Sciences*, 2 (6), 1109-1112.
- O'Sullivan, D., Cotterell, M.** (2002) "Workpiece temperature measurement in machining", *Proceedings of the Institute of Mechanical Engineers Part H Journal of Engineering in Medicine*, Vol. 216 No.B1, pp.135-9.
- Özses B** (2002) Bilgisayar Sayısal Denetimli Takım Tezgahlarında Değişik İşleme Koşullarının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara, s 6-25.
- Paro, J., Hänninen, H., And Veijo.**, (2001) “Tool wear and Machinability of X5 CrMnN 18 18 Stainless Steels”, *Kauppinen Journal of Materials Processing Technology* , 14-20.
- Sandvik Coromant** (1994) *Modern Metal Cutting–A Practical Handbook*, English Edition, Sandvik Coromant, Sweden,

**Sandvik Coromant** (1996)“Modern metal cutting – A practical handbook”, English Edition, Sandvik Coromant, Sweden, I-III (1997)

**Sarıtaş Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş.**, (2004) ”Sarıtaş Teknik Yayın” No:1, 2.Baskı, İstanbul.

**Shaw M C** (1985) *Metal Cutting Principles*, Oxford University Press, London, s. 210-265.

**Shaw M C** (1989) *Metal Cutting Principles*, Oxford University Press, Oxford, s. 1-9.

**Stout K J** (1998) Engineering surfaces – a philosophy of manufacture (a proposal for-good manufacturing practise), Proc. Instn.Mech.B 212 -169 – 174.

**Şeker U, Kurt A ve Çiftçi İ** (2002) Design And Construction Of A Dynamometer For Measurement Of Cutting Forces During Machining With Linear Motion, *Materials and Design*, 23: 355-360.

**Trent E M** (1989) *Metal Cutting*, Butterworths Press, London, s. 1-171.

## **ÖZGEÇMİŞ**

Bülent BALCI 1979 yılında Ankara’da doğdu. İlkokul öğrenimini Ankara Etimesgut Şeker İlköğretim okulunda bitirdi. Ortaöğrenimini Etimesgut Mehmetçik lisesinde tamamladı. Sincan Endüstri Meslek Lisesi tesviye bölümünden mezun olduktan sonra 2001 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Talaşlı Üretim Öğretmenliği’ne girdi; 2005’de "iyi" derece ile mezun olduktan sonra aynı yıl Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı. Halen Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı’nda yüksek lisans programını sürdürmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Şeker Mahallesi 3. Sokak No:22

Etimesgut-ANKARA 06790

Tel : 05438973608

E-posta : bulentbalci@gmail.com